



## **Estudo de melhoria de condições de maquinagem em empresa metalomecânica**

**ANTÓNIO JOSÉ RODRIGUES DA ROCHA**

novembro de 2019

# ESTUDO DE MELHORIA DE CONDIÇÕES DE MAQUINAGEM EM EMPRESA METALOMECÂNICA

António José Rodrigues da Rocha  
1131247

**2019**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

## **ESTUDO DE MELHORIA DE CONDIÇÕES DE MAQUINAGEM EM EMPRESA METALOMECÂNICA**

António José Rodrigues da Rocha  
1131247

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

**2019**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Doutor José Duarte Ribeiro Marafona

Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Prof. Doutor Francisco José Gomes da Silva pela disponibilidade, ensinamentos, conselhos e por todo o apoio bibliográfico disponibilizado.

Gostaria de agradecer à empresa Couto & Lopes Lda, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Queria agradecer ao Sr. António Carneiro, chefe de maquinagem, pela atenção dispensada e respetivos conhecimentos transmitidos.

Não posso deixar de agradecer ao excelente profissional Sr. Paulo Martins, operador de máquinas CNC, pela sua ajuda e transmissão de conhecimentos teóricos e práticos, um enorme obrigado.

Agradeço igualmente a todas as pessoas que me acompanharam durante o curso e ao apoio recebido por parte dos meus amigos.



## **PALAVRAS CHAVE**

Indústria metalomecânica, Maquinagem, Estudo de Tempos, Melhoria do processo

## **RESUMO**

A presente dissertação foi realizada em período de estágio curricular, em ambiente industrial, na empresa Couto e Lopes LDA e surge pela necessidade de se efetuar uma melhoria no tempo de maquinagem do processo.

Foram estudados os tempos de maquinagem em dois processos de fabrico e foram obtidos os respectivos melhoramentos. Na elaboração da encomenda de dois mil suportes distanciadores, um novo sistema de aperto mecânico foi criado. Alcançou-se uma melhoria de aproximadamente 68% na margem económica do processo e de 75 % no tempo de produção.

Foi também realizado, uma otimização do *layout* de uma placa de alumínio AW 5083, para a produção simultânea de doze suportes de tacómetros, ao invés de cinco da corrente metodologia de fabrico. Selecionaram-se novas ferramentas, adequadas ao corte deste tipo de material, que possibilitam velocidades de rotação e de avanço maiores. Por conseguinte, foi obtido um melhoramento de 68,5% na margem financeira do processo e uma redução de cerca de 75% do tempo de produção com a metodologia teórica desenvolvida.



**KEYWORDS**

*Metalworking Industry, Machining, Study of the cycle time, Process Improvement*

**ABSTRACT**

*The present dissertation was made during a curricular internship period, in an industrial environment, at Couto & Lopes Lda, and arises from the need to improve process time machining.*

*The machining times were studied in two manufacturing processes and their respective progresses were made. On the order of two thousand spacer brackets, a new mechanical clamping system was created. Approximately 68% improvement in process profit and 75.3% in production time was achieved.*

*An AW 5083 aluminum plate was also optimized for the simultaneous production of twelve tachometer holders, instead of five of the current manufacturing methodologies. New tools were selected, suitable for cutting this type of material, which enable higher rotation and feed rates. Due to this fact, an improvement of 68,5% of process profit and about 75% of production time, was obtained with the new developed theoretical methodology.*



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

B	Altura do furo: roscado
$C_{FER.}$	Custo de ferramentas
$C_{MP}$	Custo matéria-prima
$C_M$	Custo de maquinagem
$C_h$	Custo/hora
$C_T$	Custo de transporte
$f_n$	<i>Feed per revolution</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
n	<i>Spindle Speed</i>
$P_C$	Potência de corte
q	Altura do furo: liso da broca
$T_C$	Tempo de ciclo
TMRZP	Tempo de marcação e registo do Zero-Peça
TMA	Tempo de montagem e aperto
TL	<i>Tool life</i>
TLIFEC	<i>Tool life count</i>
TLIFEL	<i>Tool life length</i>
$T_P$	Tempo de produção
$T_S$	Tempo de <i>Setup</i>
TRR	Tempo de remoção de rebarbas
TTF	Tempo de troca de ferramentas
$V_C$	Velocidade de corte
$V_f$	Velocidade de avanço

### Lista de Unidades

g	Gramas
h	Hora
J	Joule
K	Kelvin
m	Metro
min	Minuto
N	Newton
Pa	Pascal
rpm	Rotações por minuto
s	Segundo
W	Watt

---

### Lista de Símbolos

∅	Diâmetro
€	Euro
®	Marca registada
%	Percentagem

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - POSIÇÃO DA PRENSA NA MESA DE TRABALHO.	28
FIGURA 2 - VISTA LATERAL DO ANTIGO GABARI.	30
FIGURA 3 – VISTA ISOMÉTRICA DO ANTIGO GABARI.	30
FIGURA 4 - DIAGRAMA DE TEMPO DE MAQUINAGEM VERSUS TEMPO DE PREPARAÇÃO	31
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DO NOVO GABARI FABRICADO PARA A MAQUINAGEM EM SIMULTÂNEO DE 35 PEÇAS.	32
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DO SUPORTE DO TACÓMETRO.	34
FIGURA 7 – VISTA FRONTAL DA PLACA BASE DE ALUMÍNIO.	36
FIGURA 8 – VISTA LATERAL DA PLACA BASE DE ALUMÍNIO.	36
FIGURA 9 – BRAÇO DE ROSCAR PNEUMÁTICO.	40
FIGURA 10 - BROCA HSS Ø8.5.	41
FIGURA 11 - FRESA DE TOPO HSS Ø10.	42
FIGURA 12 - MACHO M10.	42
FIGURA 13 - BROCA DE PONTOS.	44
FIGURA 14 - BROCA DE METAL DURO, SANDVIK®.	45
FIGURA 15 - FRESA DE TOPO METAL DURO, SANDVIK®.	45
FIGURA 16 - BROCA METAL DURO, SANDVIK®.	46
FIGURA 17 - MACHO M10, SANDVIK®.	46
FIGURA 18 - PLACA BASE DE AÇO INOXIDÁVEL 416+S COM 30 MM DE ESPESSURA.	47
FIGURA 19 - GRELHA DE BARRAS PARA A TERCEIRA POSIÇÃO DE MAQUINAGEM.	48
FIGURA 20 - VISTA DE TOPO E FRONTAL DAS GRELHAS DO 3ºAPERTO.	71
FIGURA 21 - SUPORTE DISTANCIADOR.	71
FIGURA 22 – ANEXO, BATENTE MÓVEL.	72
FIGURA 23 - ANEXO, PAREDE DE ENCOSTO GABARI.	72
FIGURA 24 – ANEXO, BASE GABARI.	72
FIGURA 25 – ANEXO, MANIPULO ESTRELA E FUSO M10.	72
FIGURA 26 – DESENHO TÉCNICO DO SUPORTE DO TACÓMETRO.	73
FIGURA 27 – LAYOUT PLACA DE ALUMÍNIO AW 5083, PROJ_MAQ_L2.	73
FIGURA 28 - ANEXO, ALTURA DO FURO PARA MATERIAL DURO, LIVRO DESENHO TÉCNICO BÁSICO 3, SIMÕES MORAIS, 23ª EDIÇÃO.	75
FIGURA 29 – ANEXO, PROFUNDIDADE DE ROSCA PARA MATERIAL DURO, LIVRO DESENHO TÉCNICO BÁSICO 3, SIMÕES MORAIS, 23ª EDIÇÃO.	75



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE ESTRATÉGIAS DE MAQUINAGEM.	8
TABELA 2 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE FRESAGEM EM CONCORDÂNCIA E DISCORDÂNCIA.	10
TABELA 3 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE FLUÍDOS DE TRABALHO PARA MAQUINAGEM.	11
TABELA 4 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE O PRINCÍPIO DE UM GABARI.	12
TABELA 5 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE O ESTUDO DE GABARI EXPEDITOS.	13
TABELA 6 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE A INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE APERTO NO TEMPO DE <i>SETUP</i> .	14
TABELA 7 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE A INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE APERTO NO TEMPO DE CICLO.	15
TABELA 8 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE OS MATERIAIS UTILIZADOS NO FABRICO DE FERRAMENTAS DE CORTE.	16
TABELA 9 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE OS PARÂMETROS MAIS IMPORTANTES DE MAQUINAGEM.	18
TABELA 10 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE O ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE MAQUINAGEM.	20
TABELA 11 - RESUMO DE ALGUNS TRABALHOS SOBRE O ESTUDO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SMED.	22
TABELA 12 – PROPRIEDADES AÇO INOX 304 [49,50].	27
TABELA 13 - CARACTERÍSTICAS DA FRESA DE TOPO UTILIZADA NA OPERAÇÃO DE FRESAGEM.	28
TABELA 14 - TEMPOS DE <i>SETUP</i> .	29
TABELA 15 - TEMPO DE CICLO DO SUPORTE DISTANCIADOR.	29
TABELA 16 - TEMPO DE <i>SETUP</i> E MAQUINAGEM DA ENCOMENDA DE SUPORTES DISTANCIADORES.	31
TABELA 17 - PREÇO/UNIDADE DE PASTILHAS TIGER·TEC® GOLD, GRADE 2030, TIALN+TIN [51].	32
TABELA 18 - CUSTO MAQUINAGEM.	33
TABELA 19 - MARGEM DE LUCRO.	33
TABELA 20 - CUSTO DE PRODUÇÃO.	33
TABELA 21 - CUSTO DE PRODUÇÃO DO NOVO GABARI.	33
TABELA 22 - ANÁLISE ECONÓMICA DA VENDA DOS SUPORTES DISTANCIADORES COM A UTILIZAÇÃO DO ANTIGO GABARI.	33
TABELA 23 - PREÇO/UNIDADE DE PASTILHAS TIGER·TEC®, TIALN+AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +(AL).	34
TABELA 24 - PROPRIEDADES DO MATERIAL AW 5083 [53].	35
TABELA 25 - PROGRAMAÇÃO LINHA A LINHA, CNC FAGOR 8055I, LINGUAGEM ISO E RESPETIVAS LEGENDAS DE SÍMBOLOS.	35
TABELA 26 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS CNC FAGOR 8055I.	36
TABELA 27 - FICHA DE FABRICO REFERENTE À PRIMEIRA POSIÇÃO DE MAQUINAGEM DA ATUAL METODOLOGIA.	37
TABELA 28 - TEMPOS DE <i>SETUP</i> DA ATUAL METODOLOGIA.	38

TABELA 29 - FICHA DE FABRICO REFERENTE À SEGUNDA POSIÇÃO DE MAQUINAGEM DA ATUAL METODOLOGIA.	39
TABELA 30 - OPERAÇÃO DE ROSCAGEM PARA M10 NUM BRAÇO DE ROSCAR PNEUMÁTICO.	40
TABELA 31 - VELOCIDADE DE ROTAÇÃO E DE AVANÇO APLICADAS NA CORRENTE METODOLOGIA DE FABRICO DOS SUPORTES.	41
TABELA 32 - FICHA DE FERRAMENTAS DA ATUAL METODOLOGIA DE FABRICO.	41
TABELA 33 - CUSTOS DE MATÉRIA-PRIMA, PLACAS RETANGULARES DE ALUMÍNIO AW 5083.	42
TABELA 34 - CUSTO/HORA DE MAQUINAGEM E RESPETIVOS TEMPOS DE PRODUÇÃO.	43
TABELA 35 - CUSTO DE FERRAMENTAS DE CORTE DA ATUAL METODOLOGIA DE FABRICO.	43
TABELA 36 - ANÁLISE ECONÓMICA DA ATUAL METODOLOGIA DE FABRICO.	43
TABELA 37 - FICHA DE FERRAMENTAS DA NOVA METODOLOGIA TEÓRICA DE FABRICO.	44
TABELA 38 - PARÂMETROS DE CORTE IDEAIS FORNECIDOS PELO FABRICANTE, NO PROCESSO DE FURAÇÃO E FRESAGEM [54].	47
TABELA 39 - TEMPOS DE <i>SETUP</i> DA METODOLOGIA TEÓRICA DE MAQUINAGEM.	48
TABELA 40 - FICHA DE FABRICO DA METODOLOGIA TEÓRICA DE MAQUINAGEM, PRIMEIRA POSIÇÃO.	49
TABELA 41 - TEMPO DE APERTO E DE CICLO DA 1ª POSIÇÃO DE MAQUINAGEM.	50
TABELA 42 - FICHA DE FABRICO DA METODOLOGIA TEÓRICA DE MAQUINAGEM, SEGUNDA POSIÇÃO.	51
TABELA 43 - TEMPO DE <i>SETUP</i> E DE CICLO 2º APERTO.	52
TABELA 44 - FICHA DE FABRICO DA METODOLOGIA TEÓRICA DE MAQUINAGEM, TERCEIRA POSIÇÃO.	53
TABELA 45 - TEMPO DE <i>SETUP</i> E DE CICLO 3º APERTO.	54
TABELA 46 - TEMPO DE PRODUÇÃO DE 1 000 SUPORTES DISTANCIADORES.	54
TABELA 47 - TABELA DE CUSTOS DA MATÉRIA-PRIMA.	55
TABELA 48 - TABELA DE CUSTOS DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS NA OTIMIZAÇÃO DO <i>LAYOUT</i> DA PLACA.	55
TABELA 49 - IDENTIFICAÇÃO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL DA FERRAMENTA, POR CARACTERÍSTICAS E EM COMPRIMENTO.	56
TABELA 50 - TEMPOS DE MAQUINAGEM E RESPETIVOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DA PLACA BASE E DA GRELHA.	56
TABELA 51 - ANÁLISE ECONÓMICA DA METODOLOGIA TEÓRICA.	56
TABELA 52 – COMPARAÇÃO DO LUCRO DA ATUAL METODOLOGIA COM A DESENVOLVIDA TEORICAMENTE.	57

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABELAS.....	XIX
ÍNDICE.....	XXIII
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
1.1 Enquadramento do Trabalho .....	3
1.2 Objetivos do Trabalho .....	3
1.3 Metodologia utilizada.....	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	4
1.5 Apresentação da empresa.....	4
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Maquinagem .....	7
2.1.1 Importância da maquinaria na economia.....	7
2.1.2 Tipos de maquinaria .....	8
2.1.3 Maquinagem em concordância e discordância.....	9
2.1.4 Lubrificação/Refrigeração .....	10
2.2 Gabari .....	12
2.2.1 Princípio de um gabari.....	12
2.2.2 Estudo de gabari expeditos .....	13
2.2.3 Influência no tempo de <i>setup</i> .....	14
2.2.4 Influência no tempo de ciclo .....	15
2.3 Ferramentas e parâmetros.....	15
2.3.1 Materiais para ferramentas.....	16
2.3.2 Parâmetros mais importantes.....	18
2.3.3 Seleção de parâmetros.....	20
2.3.4 Estudos de otimização de parâmetros .....	20
2.4 SMED .....	22
2.5 Estudo económico na maquinaria.....	23

3	DESENVOLVIMENTO.....	27
3.1	Caso de estudo 1 .....	27
3.1.1	Descrição da peça.....	27
3.1.2	Estudo do tempo de <i>setup</i> .....	28
3.1.3	Estudo do tempo de ciclo.....	29
3.1.4	<i>Brainstorming</i> para o gabari.....	29
3.1.5	Projeto do gabari.....	30
3.1.6	Estudo do novo tempo de <i>setup</i> e de ciclo .....	31
3.1.7	Estudo económico.....	32
3.2	Caso de estudo 2 .....	34
3.2.1	Descrição peça complexa .....	34
3.2.2	Análise do ciclo produtivo .....	35
3.2.3	Analisar custos.....	42
3.2.4	Selecionar novas ferramentas.....	43
3.2.5	Estudo do novo ciclo produtivo.....	48
3.2.6	Estudo económico.....	55
3.2.7	Análise crítica .....	57
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	59
4.1	CONCLUSÕES .....	59
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS .....	60
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO .....	63
5.1	ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS .....	63
6	ANEXOS .....	71
6.1	ANEXO 1 .....	71
6.2	ANEXO 2 .....	74

# INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia utilizada
- 1.4 Estrutura da dissertação
- 1.5 Apresentação da empresa



# 1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto de Mestrado em Engenharia Mecânica, área de especialização de Materiais e Tecnologias de Fabrico, na empresa Couto e Lopes, Lda.

## 1.1 Enquadramento do Trabalho

A indústria metalomecânica é bastante competitiva e está em crescente evolução em termos de tecnologia. É fundamental reduzir os tempos não produtivos no fabrico de uma determinada peça e melhorar o desempenho do tempo de produção da mesma. Há cada vez mais, uma forte exigência relativamente aos custos inerentes e prazos de entrega, que devem ser cada vez menores, enquanto que a qualidade do produto exigida é cada vez maior, o que torna fundamental unir esforços para reforçar a melhoria contínua dos processos produtivos, assim como comprometer a interajuda e empenho dos colaboradores. Para que se tenha sucesso, é necessário recorrer a abordagens adequadas que sejam apoiadas em ferramentas consolidadas. A realização deste estágio surge pela necessidade de melhorar processos de fabricos, desde o desenvolvimento de gabaris ao melhoramento de *layouts* de maquinaria.

## 1.2 Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem como objetivos o melhoramento de dois processos, reduzir tempos de produção e custo do processo. Para o efeito foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Fabrico de um novo *gabari* para a maquinaria simultânea de várias peças(Caso de estudo 1) ;
- Melhoramento da disposição de peças numa placa de alumínio AW 5083, e redução dos tempos de produção (caso de estudo 2).

## 1.3 Metodologia utilizada

Para a realização deste trabalho, foi feita primeiramente uma análise bibliográfica sobre maquinaria, materiais utilizados no fabrico de ferramentas de corte, tipos de maquinaria e sistemas de aperto, entre outros. Posteriormente foram estudados os tempos de *setup* e de ciclo de dois processos de fabrico. Recorreu-se ao *software* Mastercam2017 para simular a operação de maquinaria e identificar tempos de *setup* e de ciclo e o software CAD (*SolidWorks*) para otimizar um layout de fabrico. Foram selecionadas novas ferramentas de corte com o auxílio a um programa de um fabricante de ferramentas de corte, que simula as condições de trabalho existentes. Fornece também informações relativas ao custo dessas ferramentas, assim como o tempo de vida útil das mesmas.

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por quatro capítulos principais.

No primeiro capítulo, é feito o enquadramento temático do trabalho, são apresentados os seus objetivos, descrita a metodologia de investigação adotada, delineada a sua estrutura e é realizada uma apresentação da empresa Couto e Lopes Lda, local onde o trabalho foi desenvolvido.

No segundo capítulo, denominado por Revisão Bibliográfica, é feito um estudo sobre os temas abordados durante o desenvolvimento do trabalho.

O terceiro capítulo, designado por desenvolvimento do trabalho, está dividido em caso de estudo 1 e caso de estudo 2, uma vez que o primeiro se refere ao trabalho realizado à cerca da produção dos suportes distanciadores e o segundo sobre os suportes para tacómetros.

No quarto capítulo, nomeado por Conclusões e Trabalho Futuro, é concretizada uma reflexão sobre o projeto desenvolvido, bem como são apresentadas as ponderações finais relativas ao projeto desenvolvido em ambiente de estágio na empresa Couto e Lopes, Lda.

Por último, são exibidas as Referências Bibliográficas utilizadas e os Anexos.

## 1.5 Apresentação da empresa

A empresa Couto & Lopes, LDA, é uma empresa com aproximadamente quarenta anos de existência e de pequena dimensão, com cerca de 16 funcionários, que se dedica a serviços na área da Metalomecânica. A sua atividade engloba a elaboração de projetos, manutenção, fabrico e montagem de instalações e equipamentos industriais.

Ao longo dos anos estabeleceu inúmeros clientes, onde nomeadamente se destacam empresas como:

- REN;
- EFACEC;
- EDP;
- EMEF/ UMAV;
- MONTEIRO RIBAS;
- HIDURBE;
- METALURGICA VIDEIRA.

É composta por dois pavilhões, um dedicado à serralharia e outro à área da maquinagem, por um espaço exterior onde se realiza a operação de pintura e montagem de peças com alguma dimensão, como por exemplo, máquinas industriais, mesas de corte de pedra, carris, entre outras.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Maquinagem

2.2 Gabari

2.3 Ferramentas e parâmetros

2.4 Estudo económico na maquinagem



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é composto pela parte bibliográfica da presente dissertação.

### 2.1 Maquinagem

A maquinagem é um conjunto de processos de fabrico que emprega um elevado número de pessoas a nível mundial na indústria metalomecânica. É aplicado em inúmeras indústrias, como a indústria aeronáutica, automóvel e naval. Requer máquinas e ferramentas cada vez mais eficientes e otimizadas, com o objetivo de maximizar a produção, reduzindo assim tempos não produtivos e desgaste das ferramentas. Permite criar peças com geometrias simples a complexas, com diferentes acabamentos (rugosidade da superfície), dependendo das especificações do cliente [1,2,3].

A maquinagem baseia-se na remoção do material por via de uma ferramenta de corte. Velocidades de corte cada vez mais rápidas são desejadas nesta indústria, dada a sua elevada competitividade. No entanto, é preciso estabelecer um equilíbrio entre a velocidade de corte e a substituição das arestas de corte, uma vez que velocidades mais altas levam também a uma maior frequência de substituição das mesmas [4].

#### 2.1.1 Importância da maquinagem na economia

A maquinagem é considerada um conjunto de processos essenciais e críticos no fabrico de peças. Existem inúmeras ferramentas de corte no mercado, cada uma com as suas características e compostas por diversos tipos de substrato e revestimentos, adaptadas para o corte dos mais diversificados materiais existentes. Atualmente, esta tecnologia de ferramentas está muito bem desenvolvida e conseguem-se alcançar resultados bastante satisfatórios nas peças resultantes do processo de maquinagem. Este setor fornece tecnologias de manufatura avançadas, o que permite um melhor controlo do processo de fabricação e rastreabilidade, o que possibilita que ocorram menos desperdícios, mais eficiência e melhor gestão dos recursos. O setor tem uma relevância diferenciada no ponto de vista económico português e é responsável por uma terça parte do tecido empresarial, da força de trabalho e do volume de negócios da indústria transformadora. É responsável por trinta e dois por cento das exportações totais de bens de Portugal no ano corrente. Relativamente ao comércio internacional, é esperado um crescimento forte para o setor [5].

### 2.1.2 Tipos de maquinagem

A maquinagem é composta por vários processos, tais como o torneamento, fresagem, furação, retificação, entre outros processos existentes.

A fresagem é um processo de corte polivalente, usado amplamente na maquinagem de peças com geometrias complexas. Por este motivo, tornou-se uma tecnologia essencial na fabricação de matrizes e moldes, bem como de componentes na indústria aeroespacial e automóvel. Dadas estas circunstâncias e às diferentes variáveis envolvidas, a otimização tornou-se um fator fundamental, com o intuito de alcançar uma maior produtividade e qualidade do produto final. Por esta razão, os fabricantes de ferramentas sugerem o estudo de diferentes estratégias de maquinagem [6]. A tabela 1 descreve sumariamente alguns trabalhos sobre estratégias de maquinagem.

Tabela 1 - Resumo de alguns trabalhos sobre estratégias de maquinagem.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Perez <i>et al.</i> (2013), [6]	Os autores deste artigo, fizeram um estudo acerca da análise de estratégias de maquinagem na operação de fresagem periférico. Concluíram que, uma regra básica na fresagem é garantir uma menor secção da apara, pois leva a um aumento da vida útil da ferramenta. Identificaram diferenças insignificantes na maquinagem de materiais macios, verificaram que no seu caso, a aplicação de estratégias elaboradas de corte não seria recomendável.
Iqbal <i>et al.</i> (2019) [7]	Neste trabalho, foi estudada a comparação entre a operação de furação e fresagem para a ampliação do furo, na maquinagem de aços temperados, AISI 1040. Concluíram que, apesar da furação ter apresentado melhor qualidade da superfície maquinada, em termos de sustentabilidade apresenta piores resultados em relação à fresagem do furo. Relativamente a aspetos ambientais, mais uma vez é apropriada a fresagem, devido ao facto de que a operação de furação consome mais energia. Uma análise microscópica revela fenómenos de desgaste progressivo em ambas as ferramentas utilizadas.
Shixiong <i>et al.</i> (2016) [8]	Neste trabalho, foi estudada a técnica de fresagem trocoidal na maquinagem a alta velocidade de cavidades. O material dos ensaios foi o aço P20 HRC 36. Os resultados mostram que o principal problema que afeta esta técnica são as forças de fresagem, e por esse mesmo motivo devem ser devidamente controladas. O aumento da profundidade axial do corte demonstrou ser melhor que o método de ajustamento da taxa de alimentação, em termos da eficiência da fresagem toroidal e desgaste da ferramenta.

### 2.1.3 Maquinagem em concordância e discordância

Na fresagem em concordância, o avanço da ferramenta de corte é feito no sentido da sua rotação. Este tipo de fresagem é recomendado sempre que haja possibilidades para tal, aperto e posição da peça na mesa de trabalho. Na fresagem em concordância, a espessura da apra diminui a partir do início do corte até se aproximar de zero no seu fim, de modo gradual. Isto evita que haja contacto (atrito) no início do corte do material, o que leva a um maior esforço da ferramenta de corte, queimando precocemente a aresta da ferramenta e diminuindo assim o seu tempo de vida útil. É ideal na maquinagem a maior espessura da apra no início do corte, uma vez que, as forças de corte têm tendência a puxar a peça contra a fresa, mantendo a aresta no corte. Posto isto, dado que a ferramenta de corte tem a tendência de ser puxada para a peça, é necessário que a máquina consiga lidar com o jogo de avanço da mesa, usando a eliminação da folga. Caso contrário, é indicado a utilização da fresagem em discordância. Na fresagem em discordância, o avanço da ferramenta de corte é feito no sentido contrário à sua rotação. O corte é feito de fora para dentro do material, ou seja, a apra no início do corte é fina e próxima de zero, e vai aumentando de espessura gradualmente até ao final. Uma vez que este tipo de maquinagem é muito desgastante para a ferramenta devido a altas temperaturas e aparas mais grossas no fim do corte, é recomendado quando não é possível realizar maquinagem em concordância [9]. Na ilustração 1, à esquerda está representada a operação de maquinagem em concordância e à direita em discordância.

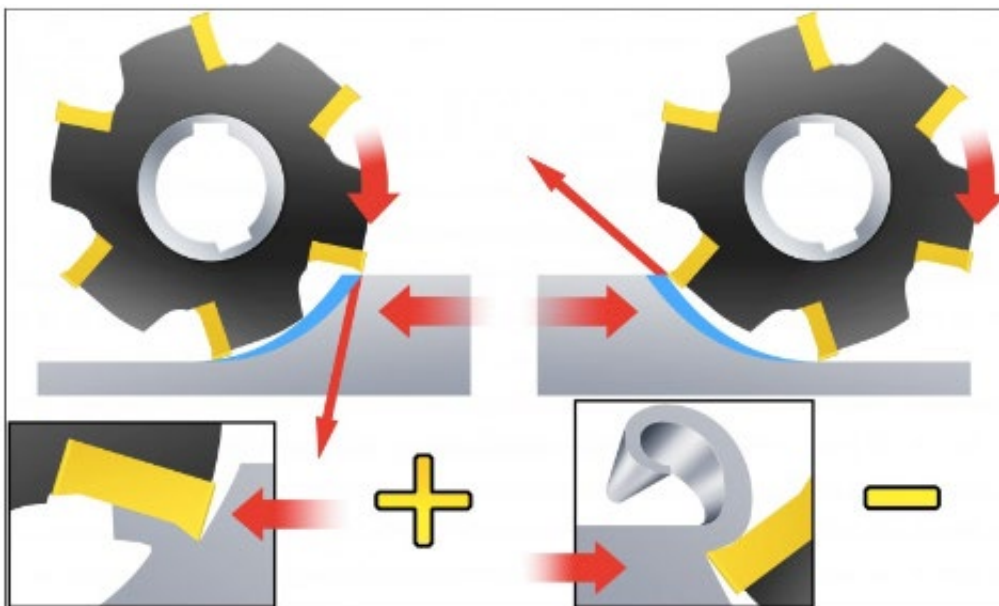


Figura 1 – Fresagem em concordância (esquerda) vs fresagem em discordância (direita) (Sandvik, 2019)

Na tabela 2, estão representados trabalhos sobre dois tipos de fresagem, em concordância e discordância.

Tabela 2 - Resumo de alguns trabalhos sobre fresagem em concordância e discordância.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
<p>Deus <i>et al.</i> (2016) [10]</p>	<p>Neste trabalho, foi estudada a influência da velocidade de corte na fresagem tangencial, quer em concordância quer em discordância, durante a maquinagem de uma placa de fibra de madeira de média densidade (MDF). Para isso, foi utilizada a rugosidade média para comparar ambos os estilos de fresagem. Os ensaios foram realizados a quatro velocidades de corte diferentes, com uma velocidade de avanço de 2 m / min e 1 mm de profundidade de maquinagem. Os painéis de MDF foram fresados tangencialmente, seis vezes em discordância e seis vezes em concordância. Concluiu-se que o parâmetro que mais influencia a qualidade da superfície é a velocidade de corte. A fresagem tangencial em discordância, é o que apresenta valores de rugosidade mais baixos, cerca de 50% dos valores obtidos pela fresagem tangencial em concordância.</p>
<p>Correia <i>et al.</i> (2006), [11]</p>	<p>Neste trabalho, foi estudada a utilização da técnica das quantidades mínimas de fluido de corte (MQL), em comparação com a lubrificação abundante na maquinagem de uma liga de alumínio 7050 (ASM). Conclui-se que a fresagem em concordância possibilita um melhor acabamento superficial a velocidades de avanço maiores, relativamente à fresagem em discordância.</p>

#### 2.1.4 Lubrificação/Refrigeração

A utilização de fluídos de lubrificação/refrigeração na maquinagem de peças é essencial, pois para além de contribuírem para o bom acabamento da superfície e para trabalhar tolerâncias rígidas de forma consistente, também contribuem para o aumento da vida útil da ferramenta de corte. Os fluídos de corte desempenham um papel importante na minimização do tempo de produção, custo e energia em diferentes operações de maquinagem. São utilizados em quantidades elevadas para refrigerar, lubrificar e remover as aparas formadas no corte do material, as quais prejudicam a integridade da superfície a trabalhar. É necessário ter em atenção dois fatores quando se pretende adquirir este produto: a sua entrega com os respetivos parâmetros de utilização e onde este pode ser utilizado. O diagrama representado na ilustração 2, representa os métodos básicos de fornecimento de fluídos para trabalho de metais (MWF) na zona de maquinagem ao longo das décadas [12,13].

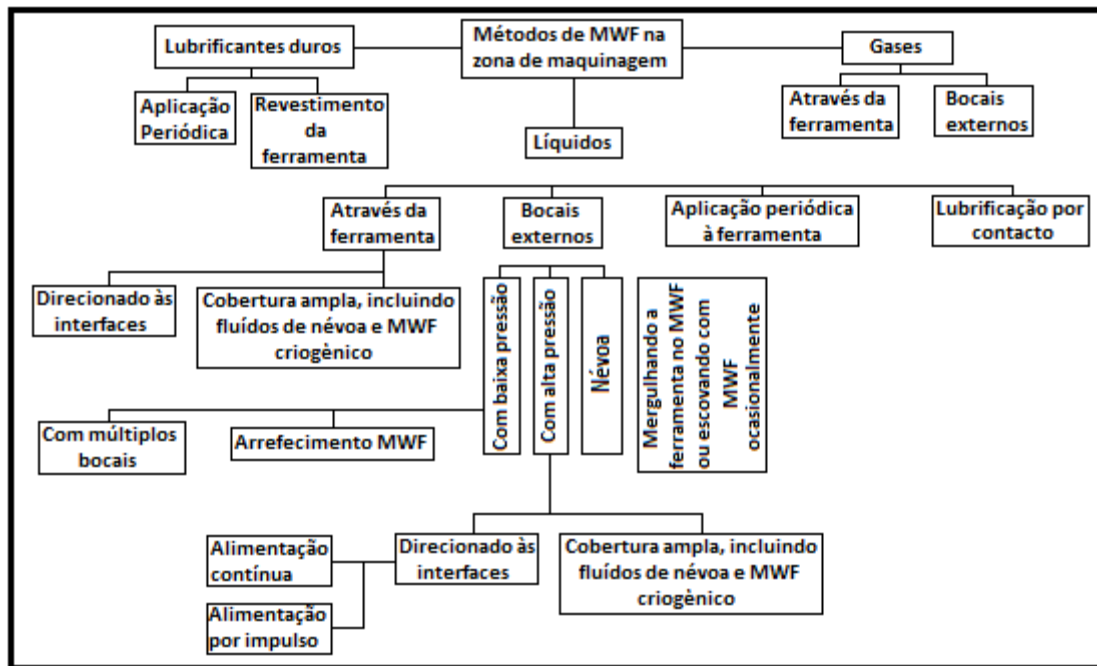


Figura 2 –Esquema básico de fornecimento de fluidos de refrigeração para metais, em uso por muitas décadas (V. P. A STAKHO, 2012, [12])

A tabela 3, descreve sumariamente alguns trabalhos sobre os fluidos de corte utilizados na operação de fresagem.

Tabela 3 - Resumo de alguns trabalhos sobre fluidos de trabalho para maquinagem.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Agapiou, (2018) [13]	Neste trabalho, foi analisado o desempenho de fluidos de corte, com a introdução de aditivos lubrificantes à base de micro carbonetos de cebola. Identificou-se que estas partículas dispersas em óleo ou refrigerantes à base de água, são ideais para materiais difíceis de trabalhar, como as engrenagens tratadas termicamente, uma vez que, melhoram a lubrificação e o arrefecimento do local onde atua o fluido de corte.
Lu <i>et al.</i> (2018), [14]	Neste trabalho, o objetivo dos autores foi a otimização do desempenho do processo de maquinagem e a sua sustentabilidade, através da aplicação de maquinagem criogénica. O fluxo criogénico (nitrogénio líquido) é expelido por um orifício localizado na ferramenta de corte, estando esta em rotação. Este fluido proporciona uma excelente capacidade de arrefecimento da superfície da peça durante a maquinagem, promove uma boa remoção de aparas e garante uma excelente qualidade da superfície maquinada. Uma vez que este tipo de maquinagem não deixa qualquer resíduo, não há necessidade de limpeza da máquina, o que traz vantagens em relação à redução de tempos mortos de maquinagem.

Kirsch  
*et al.*  
(2018),  
[15]

Nesta investigação, foi utilizada uma estratégia inovadora de arrefecimento para um elevado desempenho de corte, a temperaturas abaixo dos zero graus Celcius (°C). O fluido de corte utilizado é composto por água e álcoois poli-hídricos, sendo aplicados a temperaturas abaixo de zero graus Celcius. A estratégia é utilizada no torneamento do material Ti-6Al-4V, e é comparada com os fluídos de emulsão, CO<sub>2</sub>, nitrogénio líquido e torneamento a seco. Pode atingir temperaturas até -50 °C, garantido na mesma o seu estado líquido. Foi possível identificar vantagens em relação aos outros fluídos a temperaturas de maquinagem abaixo dos -30 °C, uma vez que reduz a temperatura e o desgaste da ferramenta, favorecendo a correta formação da aparta.

## 2.2 Gabari

Durante o processo de maquinagem, é preciso analisar o modo como a peça vai ser produzida, tipo de processo, número de operações, máquina a utilizar, etc. Devido à conjugação destes fatores e do grau de complexidade da peça a fabricar, o sistema de aperto da mesma pode variar, desde apertos mecânicos simples, modulares a apertos complexos destinados à produção de uma determinada peça [16,17,18].

### 2.2.1 Princípio de um gabari

O gabari precisa de posicionar a peça a trabalhar antes e durante o processo de maquinagem. É necessário permitir que as ferramentas possam alcançar a peça em todas as regiões de trabalho e prevenir eventuais vibrações que comprometam a integridade da superfície da peça, é de igual modo importante que ,após o desacoplamento do gabari, este não provoque deformações na peça, ou seja, é fundamental saber as características do material, se tem um comportamento frágil ou dúctil, e se o gabari está posicionado no sítio adequado [19]. Na tabela 4, estão representados alguns trabalhos sobre o princípio de um gabari.

Tabela 4 - Resumo de alguns trabalhos sobre o princípio de um gabari.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Liu <i>et al.</i> (2016), [20]	Neste trabalho, foi criado um gabari dedicado à maquinagem de componentes de fabrico de estruturas de aeronaves com sistemas automáticos anticolisão. Este sistema de aperto inteligente é composto por uma base sobre a mesa de trabalho, fixa por seis conjuntos de aperto (calços e barra com rasgo para parafuso) posicionados à sua volta. A peça está fixa, sob quatro apertos pneumáticos com sensores anticolisão, ou seja, durante a maquinagem à medida que a ferramenta de corte se aproxima do aperto, estes rodam automaticamente para evitar a colisão.

Delport  
*et al.*  
(2017),  
[21]

Neste trabalho, um gabari dedicado à maquinagem de um componente em Ti6AL4V foi melhorado, de modo a tornar mais eficiente o processo (tempos, custos e facilidade de aplicação). O sistema de aperto inicial é composto por dois calços escalonados e sobre eles um aperto em forma de U é pressionado nas extremidades da peça. O bloqueio deste sistema é feito por um parafuso posicionado no rasgo da barra em U. O novo sistema de aperto, tem o mesmo princípio do antigo, contudo é composto por um único elemento de aperto posicionado em cada extremidade da peça. A base do bloco de aperto está apoiada somente na ponta oposta à extremidade que atua como bloqueio junto da peça, de maneira que ao apertar o parafuso localizado a meio do bloco, isso possa ocorrer sem que a peça a trabalhar se mova durante a operação.

### 2.2.2 Estudo de gabari expeditos

A tabela 5, descreve sumariamente alguns trabalhos sobre o estudo de gabaris expeditos e a sua influência no processo de maquinagem.

Tabela 5 - Resumo de alguns trabalhos sobre o estudo de gabari expeditos.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Klotz <i>et al.</i> (2014), [16]	Este trabalho, teve como objetivo estudar a influência de um gabari dedicado na operação de furação de um material à base de plástico reforçado com fibra de carbono (CFRP). Foram analisados vários tipos de aperto, com pontos de fixação diferentes, a distâncias entre si de igual modo diferentes. Concluíram que com distâncias curtas entre os pontos de fixação e o centro do furo, a força máxima do processo permanece constante. Em contraste com o lado inferior, o dano na superfície do lado superior do material estabiliza com o aumento da deflexão do provete. Distâncias entre pontos de fixação superiores a 80 mm levam à falha do resto da peça, comprometendo a qualidade da maquinagem. Com base nos resultados, sistema de aperto e nos parâmetros utilizados, é possível prever o dano esperado na superfície do material.
Klotz <i>et al.</i> (2014), [17]	Realizaram um estudo sobre a influência de um sistema de aperto na fresagem de um material compósito reforçado com fibra de carbono (CFRP), as dimensões do material são de 860 mm x 510 mm x 2.5 mm, tendo sido cortadas espessuras mais finas para a realização dos ensaios. Concluíram que o aumento do plano de aperto contribui para que a força máxima durante a fresagem aumente consideravelmente. Forças transversais e longitudinais são consideradas constantes ao longo da fresagem do material, não sendo afetadas pelo sistema de fixação.

Klotz <i>et al.</i> (2017), [18]	Neste artigo, foi realizado um estudo mais atual sobre o comportamento do sistema de aperto, na furação de plástico reforçado com fibra de carbono. Foram analisados os comportamentos de deflexão do material ao longo da respetiva operação. A placa do provete foi apoiada em quatro pontos de fixação mecânicos, e a furação foi feita no meio do material de ensaio. Foi demonstrado que, no início do processo de furação, a velocidade de deformação também aumenta. Dependendo das condições de aperto, o avanço real do processo foi reduzido para os 30 %, o que demonstra que as condições de corte variam ao longo da operação.
---	---

### 2.2.3 Influência no tempo de *setup*

Atualmente devido à evolução da tecnologia e à elevada competitividade no setor da indústria metalomecânica, é fundamental otimizar os tempos mortos no processo de maquinagem, tempos estes em que o material não está em contacto com as ferramentas de corte, como por exemplo o tempo de *setup*. Uma das formas de otimizar a produção de peças oriundas da maquinagem é reduzir os tempos de *setup*. A utilização de gabaris deve ser feita de um modo rápido e fácil na produção das peças, com vista a reduzir este tempo [19]. Na tabela 6, está representado o resumo de alguns trabalhos sobre o impacto do sistema de aperto no tempo de *setup*.

Tabela 6 - Resumo de alguns trabalhos sobre a influência do sistema de aperto no tempo de *setup*.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Costa <i>et al.</i> (2018), [19]	Neste trabalho, os autores desenvolveram e estudaram a influência de um gabari hidráulico destinado ao posicionamento de uma peça com geometria complexa, fabricada numa CNC de quatro eixos horizontal. Trata-se de um componente importante de uma bomba de pistão axial com deslocamento variável. Concluíram que, após o trabalho realizado, foi possível estabelecer as diretrizes necessárias para alcançar rapidamente os melhores resultados no projeto de um sistema de fixação destinado à maquinagem de uma peça complexa. Estas foram validadas por um caso de estudo, reduzindo o tempo de <i>setup</i> , o número de etapas durante o processo de maquinagem (incluindo as etapas de fixação) e garantindo deste modo o nível de qualidade inicialmente esperado. Logo, esta abordagem pode ser continuada por projetistas de ferramentas no futuro, tendo em mente as condições criadas. Como todos os requisitos propostos para uma boa ferramenta de fixação são atendidos, a fabricação geral de peças deverá ser melhorada em inúmeros aspetos, desde o custo até à qualidade. Pretenderam que o guia de trabalho por eles criado, possa permitir ajudar outras indústrias a alcançar um melhor desempenho com os seus sistemas de fixação.

Liu <i>et al.</i> (2019), [22]	A preparação de componentes complexos corresponde a mais de 20% do tempo de ciclo de fabrico, que é o principal fator que restringe a eficiência do processo. De modo a colmatar o problema em causa, foi criado um sistema de aperto dinâmico, com flexibilidade no uso de ferramentas, baseado em tecnologia dupla digital. Após a otimização do tempo de <i>setup</i> , conseguiu-se alcançar uma melhoria significativa do novo sistema de aperto de trinta minutos para menos de vinte minutos.
---	--

#### 2.2.4 Influência no tempo de ciclo

A tabela 7, descreve sumariamente alguns trabalhos sobre o impacto dos sistemas de aperto no tempo de ciclo do processo.

Tabela 7 - Resumo de alguns trabalhos sobre a influência dos sistemas de aperto no tempo de ciclo.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Vavruska <i>et al.</i> (2018), [23]	Este trabalho, teve como objetivo reduzir o tempo de operação através do controlo da velocidade de rotação e do avanço em estratégias de maquinagem. Foram usadas ferramentas de corte circulares e analisado o contacto entre esta e a superfície de uma peça complexa. Verificou-se que, o ponto de contacto entre estas está sempre a ser alterado. Por este motivo, a velocidade de avanço também é diferente nestes pontos. Através do controlo da velocidade de rotação, foi possível uniformizar este fenómeno e controlar o avanço de maquinagem. Em suma, com este método foi obtida uma boa qualidade de superfície e houve uma diminuição do tempo de maquinagem em cerca de 43%.
Park <i>et al.</i> (2017), [24]	Neste artigo, os autores desenvolveram um sistema inteligente de otimização da taxa de avanço, para reduzir o tempo de maquinagem. Esta melhoria é baseada no controlo das forças de corte, com o auxílio do programa C++. Foi implementado um algoritmo inteligente no sistema da máquina CNC, com o intuito de mudar a eficiência da ferramenta. Este cria as taxas de avanço ideais para o processo. Verificou-se uma redução de cerca de 35% no tempo de maquinagem.

### 2.3 Ferramentas e parâmetros

Neste capítulo, está descrita uma análise teórica de artigos científicos sobre materiais para ferramentas, parâmetros mais importantes e estudo e otimização de parâmetros.

### 2.3.1 Materiais para ferramentas

Atualmente existem diversos materiais para ferramentas de corte, estas são compostas por um substrato, podendo este ser revestido ou não. Os carbonetos cementados são um grupo de materiais habitualmente usados no fabrico destas ferramentas [25]. A tabela 8, descreve sumariamente alguns trabalhos sobre os diferentes tipos de materiais utilizados no fabrico de ferramentas de corte utilizadas na maquinagem.

Tabela 8 - Resumo de alguns trabalhos sobre os materiais utilizados no fabrico de ferramentas de corte.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Karner <i>et al.</i> (1996), [25]	Derjaguin e Fedoseev, foram as primeiras pessoas a tentarem revestir ferramentas de corte por uma fina camada de diamante, através do processo de deposição química por vapor (CVD). No entanto tiveram inúmeros problemas, como por exemplo, na adesão do revestimento de diamante ao substrato. Com a evolução da tecnologia e dos processos de fabrico foram obtidas ferramentas de corte revestidas por CVD de revestimento de diamante de excelente qualidade e adaptadas a vários tipos de substratos, nomeadamente, de metal duro e de nitreto de silício. A grande vantagem do uso de ferramentas de corte providas de revestimento de diamante é a sua elevada dureza, terem uma ótima capacidade de dissipação de energia, e a sua versatilidade. Não são adequadas para maquinagem de ligas ferrosas.
Martinho <i>et al.</i> (2007), [4]	Neste estudo, foi analisado o comportamento ao desgaste de ferramentas de corte cujo substrato é o nitreto de silício com ou sem revestimento, sob várias condições de corte. O material dos testes foi o ferro fundido cinzento perlítico GG25 (DIN1691). Identificaram um menor desgaste superficial nos insertos de cerâmica revestidos com diamante do que os não revestidos. Foi verificada a ausência do filme de diamante junto à aresta de corte, devido a possíveis fenómenos de grafitização e à elevada temperatura nesta região.
Gouveia <i>et al.</i> (2016), [3]	Concluíram que apesar da grande evolução dos revestimentos de AlCrN, o uso de revestimentos de TiAlN consegue ser mais eficiente no corte de materiais com elevada resistência, como no caso do seu estudo, com base no aço inoxidável duplex, em operações de maquinagem com fresa de topo.
Bobzin, (2017) [26]	Ferramentas de corte com revestimentos endurecidos, foram introduzidas com sucesso no mercado e perduram há décadas. Atualmente, cerca de 85% das ferramentas de carbonetos cementados são revestidas. O desenvolvimento do processo de CVD e PVD, tem vindo a evoluir substancialmente ao longo do tempo, alterando a composição e química e modelando os revestimentos de maneira a atingir uma melhor qualidade e desempenho para a ferramenta de corte.

- 
- Rajaguru  
*et al.*  
(2017),  
[27]
- Neste trabalho, foi analisado o desempenho de várias ferramentas revestidas na operação de torneamento sem lubrificação do aço Inoxidável *Duplex*. Dos diferentes tipos de revestimento, o [MT-TiCN] -  $Al_2O_3$ , foi o que apresentou melhor resistência ao desgaste, uma vez que, proporciona elevada dureza em conjugação com a estabilidade à oxidação do  $Al_2O_3$ . O facto de ter uma melhor resistência à abrasão traduz-se em valores mais baixos de rugosidade média (Ra) e uma superfície mais íntegra. O revestimento de AlTiN gerou elevadas temperaturas devido ao elevado atrito e ao baixo coeficiente de condutividade térmica. No revestimento de TiN-[MT-TiCN] -  $Al_2O_3$ , foi identificada baixa tensão residual na superfície maquinada em comparação com as outras, pois há uma predominância da deformação plástica devido às cargas mecânicas sob o efeito de temperaturas mais altas.
- 
- Martinho  
*et al.*  
(2019)  
[28]
- Neste artigo, foi realizado um estudo comparativo de ferramentas de corte revestidas por PVD e CVD, no desempenho da fresagem a seco do aço inoxidável duplex X2CrNiMoCu25-6-3-3. Concluíram que os insertos revestidos por PVD são mais propícios para operações de acabamento, enquanto que os revestidos por CVD para operações de desbaste, onde a qualidade da superfície não é tão importante. Os resultados mostram que os insertos revestidos por CVD têm menor desgaste, mas não têm um bom acabamento superficial, como era esperado. O revestimento monocamada AlTiN PVD revela melhores resultados de adesão ao substrato do que os revestimentos multicamada TiN/TiCN/ $Al_2O_3$  CVD.
- 
- Silva  
*et al.*  
(2019)  
[29]
- Neste artigo, foi feita uma análise do comportamento ao desgaste de carbonetos revestidos por TiAlN e TiCN/ $Al_2O_3$ /TiN em operações de fresagem. O material dos testes foi um aço inoxidável duplex, GX2CrNiMoN26-7-4. Pastilhas de carboneto de tungsténio revestidas por PVD e CVD de diferentes revestimentos, foram utilizadas com o intuito de identificar mecanismos de desgaste que afetam cada um destes revestimentos e a qualidade da superfície da peça. Após a deterioração dos revestimentos, tanto por PVD como por CVD, revelaram uma acentuada degradação do substrato, levando deste modo à desintegração do substrato de composto de metal duro na área de contacto com a peça. As arestas de corte das pastilhas evidenciaram pequenos incidentes, provavelmente provenientes de heterogeneidades da superfície do material maquinado. A área desgastada do revestimento AlTiN depositado por PVD foi menor do que a apresentada por TiCN/TiN/ $Al_2O_3$  CVD, e por este motivo mostra ser o apropriado para a maquinagem desta liga DSS sob as condições de corte selecionadas.
-

### 2.3.2 Parâmetros mais importantes

No maquinagem destacam-se como parâmetros de saída mais importantes a rugosidade da superfície, o tempo de vida útil da ferramenta a utilizar tendo em conta a sua geometria e tipo de substrato (com ou sem revestimento), força de corte e temperatura. Estes parâmetros vão influenciar o comprimento e a forma da apara durante o corte, o que por sua vez, terá impacto na integridade da superfície [30,31,32,33,34,35,36,37]. Na tabela 9, estão representados os resumos de alguns trabalhos sobre os parâmetros mais importantes de maquinagem.

Tabela 9 - Resumo de alguns trabalhos sobre os parâmetros mais importantes de maquinagem.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Corrêa <i>et al.</i> (2017), [30]	Neste estudo, foi analisado o tempo de vida de ferramentas de metal duro na operação de torneamento de aços inoxidáveis martensíticos e super martensíticos, nomeadamente o aço S41000 e S41426, respetivamente. Foram realizados quatro ensaios, onde variam os parâmetros “Vc”, “Vf” e “ap”. No teste, em que estes parâmetros foram mais elevados, teste 2 (Vc=200 m/min; f=0.35 mm/aresta; ap=2mm), a maquinagem do aço inoxidável S41426, apresenta um menor tempo de vida da ferramenta de corte em relação ao aço inoxidável S41000. No teste 3 (Vc=100 m/min; f=0.20 mm/aresta; ap=2mm), o mesmo é sucedido. Só no teste 1 e 4 onde a profundidade de corte foi de 1 mm, é que o oposto foi identificado. No teste 3, teste no qual a velocidade de corte e o avanço são menores, apresenta em termos de vida de ferramenta, resultados mais eficazes em comparação com os outros testes.
Santos, <i>et al.</i> (2018), [31]	Em operações de maquinagem convencionais, o desgaste da ferramenta é um importante fator na maquinagem. Neste estudo, foi analisado o desgaste de uma micro ferramenta de carboneto de tungsténio durante a fresagem do aço inoxidável duplex UNS S32205. Nos ensaios, foram criados microcanais nas ferramentas de 0.381 mm. Verificou-se pela análise ao microscópico, a presença de desgaste nos flancos e no nariz da ferramenta, e principalmente fenómeno de adesão.
Chinchanikar <i>et al.</i> (2014), [32]	Neste trabalho, estudou-se a influência da temperatura na zona de contacto entre a pastilha e a peça durante o corte, no torneamento do aço inoxidável endurecido AISI 4340. As experiências foram realizadas por ferramentas de carbonetos cementados, revestidos por uma camada de TiAlN obtida por PVD e multicamada TiCN/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , /TiN obtida por CVD. Os parâmetros de corte que exercem maior influência na temperatura da interface entre a ferramenta e a peça, são a velocidade de corte, seguida pelo avanço. A profundidade de corte tem pouca influência no aumento da temperatura nesta região.

---

Paiva Jr <i>et al.</i> (2017), [33]	Neste trabalho, foi investigada a maquinagem do aço inoxidável <i>superduplex</i> (SDSS) através do processo de torneamento, cujas ferramentas utilizadas foram pastilhas de corte em carbonetos cementados, revestidos por CVD de TiCN + $Al_2O_3$ , assim como por PVD de TiCN e AlTiN. Identificaram que a vida útil da ferramenta revestida por AlTiN é cerca de duas vezes superior à revestida por TiCN + $Al_2O_3$ . O revestimento de AlTiN apresenta um maior tempo de vida útil da ferramenta em comparação com as restantes ferramentas do estudo. A formação do filme de alumina tribo-cerâmica neste revestimento reduz a fricção, o que promove um menor desgaste e, por conseguinte, um maior tempo de vida útil da ferramenta.
Krolczyk <i>et al.</i> (2015), [34]	Com este trabalho, o objetivo dos autores foi determinar o tempo de vida útil de ferramentas à base de carbonetos revestidos e o estudo da topografia da superfície da ferramenta, no torneamento do aço inoxidável duplex. Para este estudo, duas ferramentas foram selecionadas, a T1 ( $V_c = 50/150$ m/min, $f = 0.2/0.4$ mm/rev, $a_p = 1/3$ mm) e a T2 ( $V_c = 50, 100$ e $150$ m/min, $f = 0.2, 0.3$ e $0.4$ mm/rev, $a_p = 2$ mm), diferindo sobretudo no tipo de revestimento. Após os ensaios, conclui-se que, com o aumento da velocidade de corte, o desgaste da aresta de corte aumenta, principalmente a altos avanços de maquinagem. Revestimentos de Ti(C,N)/ $Al_2O_3$ , /TiN obtidos por CVD, foram os mais resistentes ao desgaste abrasivo.
Zheng, <i>et al.</i> (2018), [35]	Neste trabalho, estudaram-se os efeitos dos parâmetros de corte na vida útil da ferramenta, temperatura, força de corte, mecanismo de desgaste e rugosidade da superfície na operação de torneamento a seco do aço 300M, aço de alta resistência com uma ferramenta de metal duro. A velocidade de corte é o parâmetro que exerce uma maior influência na força de corte, temperatura e na vida útil da ferramenta, enquanto que a taxa de alimentação ( <i>feed rate</i> ), influencia a rugosidade da superfície. Os principais tipos de desgaste identificados na ferramenta revestida foram a adesão, abrasão, oxidação e a fadiga. A formação de óxido de titânio na superfície desgastada da ferramenta, promove uma maior dureza da mesma e reduz o coeficiente de atrito.
Chinchanikar <i>et al.</i> (2013), [36]	O trabalho em causa, trata da análise do comportamento ao desgaste de insertos em carboneto, formados por uma e múltiplas camadas, na operação de torneamento do aço endurecido AISI 4340, realizado a altas velocidades de maquinagem. Nas pastilhas de metal duro revestidas por uma camada TiAlN PVD, foram observadas menores taxas de desgaste. Apesar disso, quando a fina camada de revestimento foi removida, verificaram que o desgaste aumentou severamente na aresta de corte da pastilha, assim como, formou crateras de desgaste ao seu redor.

---

Jovic <i>et al.</i> (2017), [37]	O objetivo do presente artigo, foi analisar a influência dos parâmetros de maquinagem na classificação da forma da apara, no torneamento linear do aço macio (A500, A500M-13) e aço inoxidável AISI 304. Concluíram que a rugosidade da superfície é o parâmetro que exerce maior influência na geometria final da apara.
---	---

### 2.3.3 Seleção de parâmetros

Os parâmetros de corte mais importantes para o processo de maquinagem são:

- Velocidade de corte ( $V_c$ );
- Velocidade de avanço ( $V_f$  ou  $F_z$ );
- Profundidade axial ( $a_p$ );
- Profundidade radial ( $a_e$ );

É indispensável um planeamento prévio, onde seja definido cada um destes parâmetros, de modo a que, seja possível a maquinagem de uma determinada peça. Os materiais não têm todos as mesmas características e, por conseguinte, os parâmetros de corte não são todos iguais para cada um deles. É fundamental uma boa seleção de parâmetros de maquinagem, de forma a rentabilizar o processo de fabricação, reduzindo eventuais custos e tempos não produtivos [38,39,41].

### 2.3.4 Estudos de otimização de parâmetros

Atualmente, existem diversos métodos para melhorar o acabamento superficial das peças resultantes do processo de maquinagem, como por exemplo o método *Taguchi* [38], e a otimização dos parâmetros de maquinagem [39].

A tabela 10, descreve sumariamente alguns trabalhos sobre o estudo de otimização de parâmetros de maquinagem.

Tabela 10 - Resumo de alguns trabalhos sobre o estudo de otimização de parâmetros de maquinagem.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Zhang, (2007), [38]	Nesta pesquisa, foi estudada a utilização do método <i>Taguchi</i> na operação de fresagem, de modo a otimizar a qualidade da superfície. Conclui-se que a velocidade de rotação e a velocidade de avanço exercem um maior efeito na qualidade da superfície, do que a profundidade de corte durante a operação. Um dos fatores de ruído analisados, o desgaste da ferramenta, foi significativo. Com este método, pela análise de vários parâmetros de corte e ruído, foram identificados os melhores parâmetros de maquinagem possíveis, provando ser eficiente e eficaz e, por conseguinte, garantindo um melhoramento da qualidade da superfície.

---

Selvaraj <i>et al.</i> (2014), [39]	<p>Neste trabalho, foram otimizados parâmetros no torneamento a seco de duas classes diferentes de aço inoxidável com adição de azoto, através do método <i>Taguchi</i>. Foram utilizados dois tipos de pastilhas de corte, uma revestida com TiC e outra com TiCN. Os ensaios foram realizados a três velocidades de corte (80, 100 e 120 m/min) com três velocidades de avanço (0.04, 0.08 e 0.12 mm/rev) a uma profundidade de corte de 0.5 mm. O método <i>Taguchi</i>, foi utilizado com sucesso e conseguiu-se identificar os parâmetros mais vantajosos na maquinagem destes dois tipos de materiais. A uma velocidade de corte de 100 m/min e um avanço de 0.04 mm/rev verificou-se o valor mais baixo de rugosidade de superfície para ambos os materiais. Foi observada uma baixa força de corte, quando a velocidade de corte é de 120 m/min e o avanço de 0.04 mm/rev. O desgaste da ferramenta é provocado pela abrasão a baixas velocidade de corte e devido a fenómenos de difusão, enfraquecimento térmico e formação de fissuras a altas velocidades de corte.</p>
Bleicher <i>et al.</i> (2018), [40]	<p>Neste artigo, foi reduzido o desgaste da aresta principal de uma pastilha de corte. Para isso, utilizou-se refrigeração interna e externa. Verificou-se que a temperatura nessa área foi bastante reduzida. Posto isto, o comprimento de corte poderá ser aumentado. Isto resulta em menores custos do processo, melhora a sustentabilidade e a lucratividade.</p>
Selvaraj, (2016) [41]	<p>Este estudo investiga o desempenho na fresagem da liga de aço inoxidável duplex da categoria 5A. Os parâmetros considerados foram a rotação (n), avanço (F), e a profundidade axial (ae). Foi utilizado o método <i>Taguchi</i>, para analisar os efeitos das variáveis da maquinagem na força de corte. Verificou-se que o avanço da ferramenta é a variável mais importante que influencia a força de corte, posteriormente a rotação e por fim a profundidade axial. Valores ótimos de força de corte são obtidos através da combinação de elevadas rotações da ferramenta com baixa velocidade de avanço.</p>
Boing, <i>et al.</i> (2018), [42]	<p>O objetivo deste estudo foi conhecer as condições limite das ferramentas compostas por duas classes de carbonetos cementados revestidos no torneamento de aços endurecidos, AISI 4340, AISI 52100 e AISI D2. Identificou-se que a deterioração dos revestimentos de carbonetos cementados foi o fator que maior impacto teve na vida útil da ferramenta, uma vez que a aresta de corte colapsa quando o substrato é exposto. O revestimento PVD de TiAlN, proporciona melhores resultados no torneamento do aço inoxidável endurecido 4340, e os revestimentos de TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN MT CVD promovem um longo tempo de vida útil da ferramenta no torneamento dos aços inoxidável endurecido 52100 e D2.</p>

---

Qehaja, <i>et al.</i> (2014), [43]	Com esta pesquisa, foram analisados os efeitos dos parâmetros de corte na rugosidade da superfície, durante a operação de torneamento a seco. Foi possível identificar neste estudo que a taxa de avanço, raio da ferramenta e o tempo de maquinagem foram os parâmetros que mais afetaram a rugosidade da superfície.
---	--

## 2.4 SMED

A metodologia desenvolvida por *Shigeo Shingo*, denominada SMED (*single minute exchange of die*), sugere que os *setups* sejam realizados pelo operador da máquina num período máximo de dez minutos. Uma das características fundamentais da metodologia SMED refere-se às suas atividades. Estas são divididas em atividades externas, isto é, atividades de *setup* que podem ser realizadas sem que haja a interrupção da produção e as atividades internas, que são referentes às atividades que não podem ser realizadas sem que haja a interrupção da produção. A correta identificação e separação destas atividades é o fator fundamental que contribui para a redução dos tempos de *setup*. Esta metodologia é composta por quatro fases: uma fase preliminar onde as condições de *setup* interno e externo não são diferenciadas; a primeira fase é a separação das tarefas de *setup* externas das internas; a segunda fase é a conversão das atividades internas em externas; a terceira fase é a racionalização de todos os aspetos referentes à operação de *setup* [44,45,46]. Este método pretende transformar atividades internas em externas, para isso é necessário realizar uma avaliação minuciosa para identificar possíveis oportunidades para a exercer esta conversão. No entanto, nem sempre é possível um impacto relevante na redução do tempo de preparação no ponto de vista do *setup* global do processo [44].

Na tabela 11, estão representados alguns trabalhos sobre a aplicação da metodologia SMED.

Tabela 11 - Resumo de alguns trabalhos sobre o estudo de aplicação da metodologia SMED.

Referências Bibliográficas	Descrição do trabalho
Martins, <i>et al.</i> (2018) [44]	Neste artigo, foi estudada a aplicação da metodologia SMED na maquinagem por feixe de eletrões na indústria automóvel. A aplicação deste método fornece resultados consistentes e positivos. Neste caso de estudo, a conversão de atividades internas em externas não demonstrou ter grande impacto. Apesar disto, a análise realizada resultou em mudanças nos equipamentos que permitiram uma redução em 50% do tempo de <i>setup</i> .
Sousa <i>et al.</i> (2018) [45]	Neste artigo, foi estudada a aplicação da metodologia SMED na produção de rolhas de cortiça. Este método foi utilizado com o intuito de reduzir o tempo de inatividade provocado pela troca de ferramentas. Foi obtido uma redução de 43% no tempo médio de troca de ferramentas. A prática deste método permite perceber a importância dos conceitos <i>Lean</i> , que são muitas vezes indispensáveis para criar condições de trabalho que promovam a eficiência dos trabalhadores.

---

Rosa <i>et al.</i> (2017) [46]	Neste artigo, foi estudada a aplicação da metodologia SMED na redução dos tempos de <i>setup</i> nas linhas de montagem de cabo de aço para a indústria automóvel. A aplicação deste método é realizada juntamente com outras ferramentas <i>Lean</i> , visando a redução dos tempos oriundos de troca de ferramentas. Durante uma semana, obteve-se uma redução em cerca de 58.3% do tempo de paragem da linha para a realização dos <i>setups</i> , o que corresponde a 210 minutos.
---	--

---

## 2.5 Estudo económico na maquinagem

Em 2018 as exportações portuguesas do setor metalúrgico e metalomecânica aumentaram cerca de 11,3% para 18.334 milhões de euros em relação ao ano de 2017 [47].

No mês de dezembro de 2018, registaram um crescimento homólogo de 20,5% para 1.418 milhões de euros.

Ao setor da metalurgia e da metalomecânica é atribuído 18% do Produto Interno Bruto (PIB) e muito do seu crescimento deve-se ao bom desempenho nos mercados europeus.

Está previsto para 2019 a manutenção do crescimento, sendo essencial que “se mantenham as atuais políticas do Banco Central Europeu, com taxas de juro baixas e alguma estabilidade”. É de igual modo fundamental apostar na qualidade, inovação e diferenciação, recorrendo à digitalização, de maneira a compensar a desaceleração da economia.

Uma das preocupações neste setor é a falta de mão-de-obra qualificada. Segundo estudos realizados, o setor está carenciado em cerca de vinte e cinco mil trabalhadores. [48].



# DESENVOLVIMENTO

3.1 Caso de estudo 1

3.2 Caso de estudo 2



### 3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo, está subdividido em duas partes. A primeira é dedicada há análise e otimização do fabrico de uma peça menos complexa, enquanto que a segunda é destinada há otimização através de um layout de uma placa, para o fabrico de suportes de tacómetros.

#### 3.1 Caso de estudo 1

##### 3.1.1 Descrição da peça

A empresa, por mês, realiza o processo de fresagem de um chanfro em duas mil peças para a indústria metalúrgica, nomeadamente, de suportes distanciadores (peças de ligação *Tank-on-Tank*, ver Figura 21, Anexo 1). O processo é executado numa fresadora convencional, sendo a ferramenta de corte utilizada, uma fresa de 25 mm de diâmetro, com cinco pastilhas de corte. As peças são oriundas do processo de corte a laser de uma chapa com três milímetros de espessura. O material da chapa é o aço inoxidável AISI 304. Na tabela 12, está representado as propriedades químicas e mecânicas deste material [49,50].

Tabela 12 – Propriedades Aço INOX 304 [49,50].


Características técnicas	Tipo ASTM (AISI)	304			
<b>Designação</b>	Composição química	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% [18,00-20,00] Ni% [8,00-10,50]			
Propriedades Físicas	Densidade	[kg/dm <sup>3</sup> ]	7.9		
	Módulo de elasticidade	[GPa]	193		
	Estrutura		AUSTENÍTICO		
	Calor específico a 20°C	[J/kg · K]	500		
	Condutibilidade térmica, a 100°C		[W/ m · K]	16	
			0100°C	17.30	
			0300°C	17.80	
		Coeficiente de dilatação térmico médio (x10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )		0500°C	18.40
				0700°C	18.80
Intervalo de Fusão	(°C)	1398-1454			

Propriedades Mecânicas a 20°C	Dureza Brinell	Recozido HB	130-150
		Com Deformação em frio HB	180-330
Propriedades Mecânicas a 20°C	Resistência a tração	Recozido	500-700
	Com Deformação em frio		700-1180
	$R_m$ [MPa]		
	Alongamento $L_0 = 5 d_0 \geq \%$	A (%)	45

### 3.1.2 Estudo do tempo de *setup*

O processo de maquinagem é composto apenas por uma operação, fresagem de topo (ver tabela 13 para visualizar as características da ferramenta de corte) no sentido transversal. A maquinagem envolve duas passagens em movimento linear em ambos os sentidos, a uma profundidade de corte ( $a_p$ ) de 1.4 mm, velocidade de corte ( $V_c$ ) de 100 m/min (fórmula 1) e avanço por aresta ( $f_z$ ) de 0.1 mm. O modo de produção das peças é unitário. A prensa hidráulica (largura dos mordentes: 170 mm e altura: 50 mm) está posicionada na posição transversal em relação à mesa de trabalho (ver figura 1). Os tempos de *setup* foram cronometrados na área de maquinagem da fábrica (ver Tabela 14).

Tabela 13 - Características da fresa de topo utilizada na operação de fresagem.

Designação	Características		
 Fresa de topo, M5130-025-A25-05-05,	Diâmetro de corte	$D_c$	25 mm
	Profundidade de corte máxima	APM	5 mm
	Nº arestas de corte	Z	5
	Ângulo de aproximação	K	90°
	Comprimento	l	120 mm

$$V_c = (\pi \cdot D \cdot n) / 1000 \quad (1)$$

$$V_f = n \times f \text{ ou } n \times f_z \times z \quad (2)$$



Figura 1 - Posição da prensa na mesa de trabalho.

Tabela 14 - Tempos de *setup*.

Descrição	Método	Tempo (s)
Tempo de montagem da prensa	Manual e apertos mecânicos	300
Tempo de alinhamento da prensa	Comparador mecânico	900
Tempo de montar e preparar ferramentas	Manual	240
Tempo médio de retirar e colocar a peça (x 4000)	Manual	7.32
Tempo de troca de pastilhas de corte	Manual	300
Total		30 940

### 3.1.3 Estudo do tempo de ciclo

A operação de maquinagem, é uma operação simples, onde o tempo de maquinagem por peça é relativamente curto, no entanto, é um processo moroso e exige que o operador esteja concentrado durante longos períodos de tempo, o que se torna bastante cansativo e monótono. A maquinagem demora em média 19.10 segundos. São realizadas pelo operador duas mil operações. Na tabela 15, está representado o tempo de maquinagem do processo. A remoção da rebarba demora em média 15 segundos por peça, o que perfaz um total de 30 000 segundos para concluir esta operação.

Tabela 15 - Tempo de ciclo do suporte distanciador.

Descrição	Quantidade (unidades)	TC (s)	TRR Total (s)	Tempo total de ciclo ( $T_{TC}$ ) (s)
Suporte distanciador	2 000	19.10	15	38 200

### 3.1.4 *Brainstorming* para o gabari

O objetivo do novo gabari é reduzir os tempos mortos de produção, tempos dos quais a ferramenta de corte não está em contacto com a peça, otimizando desta forma o processo e retirando, por conseguinte, rentabilidade da operação. Para isso, é necessário que o gabari respeite as seguintes condições:

- Deve permitir a maquinagem simultânea de mais do que uma peça;
- Seja fácil de montar na mesa de trabalho ;
- Seja prático;
- Permita um carregamento rápido de peças ;
- Durável;
- Seja de fabrico rápido e económico.

### 3.1.5 Projeto do gabari

O gabari utilizado na fábrica para a operação de chanfro, é um gabari simples e mecânico, dedicado exclusivamente para a produção destes componentes (Figuras 2 e 3).



Figura 2 - Vista lateral do antigo gabari.



Figura 3 – Vista isométrica do antigo gabari.

O novo gabari foi fabricado internamente na empresa, o material utilizado para o seu fabrico foi o C45E, obtido por sobras de outras produções. Tem um perfil semelhante ao gabari antigo numa das extremidades, a outra é de faces planas e paralelas com uma espessura de 25 mm, onde passa um fuso roscado M10. Este é espigado numa ponta para um diâmetro de 7 mm e possui um rasgo de 1.5 mm para fixar duas cavilhas de mola de 4 mm de diâmetro, de maneira a que este não se solte do batente móvel no seu retrocesso. Na outra ponta, é colocado um manipululo estrela para um aperto fácil e uma porca para ajustar o aperto mecânico. No batente móvel, foi também introduzido um pino para limitar o movimento vertical do batente. O curso do pino está limitado longitudinalmente por um pequeno rasgo na parede de encosto. Esta é fixa à base através de parafusos de cabeça cilíndrica M5. No anexo 1 ( Figura 22,23,24,25) estão representados os desenhos dos componentes do novo gabari.

A maquinação do novo gabari envolve quatro componentes:

-Perfil da base;



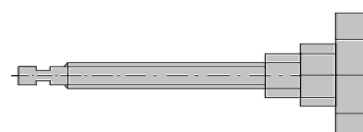
-Parede de encosto;



-Batente móvel;



- Manipulo estrela e fuso M10.



As operações de maquinagem envolvidas neste processo foram o desbaste e a furação. Para a criação dos ângulos a 65 graus foi utilizado um instrumento para medir e traçar ângulos, uma suta, e rodou-se o cabeçote da fresadora a 25 graus. O mesmo processo foi utilizado para a inclinação do batente móvel.

### 3.1.6 Estudo do novo tempo de *setup* e de ciclo

O sistema de aperto foi testado na produção de duas mil unidades de suportes distanciadores. O tempo de ciclo associado ao novo gabari é bastante reduzido quando comparado à metodologia executada anteriormente. Para carregar as peças, o operador demora em média dois minutos. Para colocar e apertar na prensa, três minutos, pois é necessário nivelar as peças à medida que se dá o aperto necessário para a maquinagem. O tempo médio de ciclo é de cerca de 1.71 segundos por peça, uma vez que no carregador estão introduzidas trinta e cinco peças. São executadas cinquenta e oito operações. Posteriormente à realização do chanfro, com o auxílio da rebarbadora, o operador quebra a aresta, demorando aproximadamente trinta segundos a concluir esta operação. Analisado os tempos de maquinagem, e visto que apenas se utiliza um trabalhador para a produção deste componente, não é rentável o fabrico de um segundo gabari idêntico para alternar entre o carregamento de peças no gabari e a fresagem, uma vez que este teria cerca de 25 a 30 segundos antes de inverter o sentido de fresagem. Tempo que seria escaço para o operador se deslocar à mesa de trabalho e começar um novo carregamento de peças (ver figura 4).

É possível trabalhar numa só passagem em movimento linear e em fresagem em concordância trinta e cinco peças (limite de peças no carregador). Os tempos de *setup* e maquinagem estão representados na tabela 16.

Tabela 16 - Tempo de *setup* e maquinagem da encomenda de suportes distanciadores.

Descrição	Quantidade	TC	TRR	TS	TS	Tempo Ciclo
	(unidades)	(s)	(s)	(s)	(s)	2000 unid.
Suporte distanciador	2 000	1.71	0.9	300	19 140	3 471

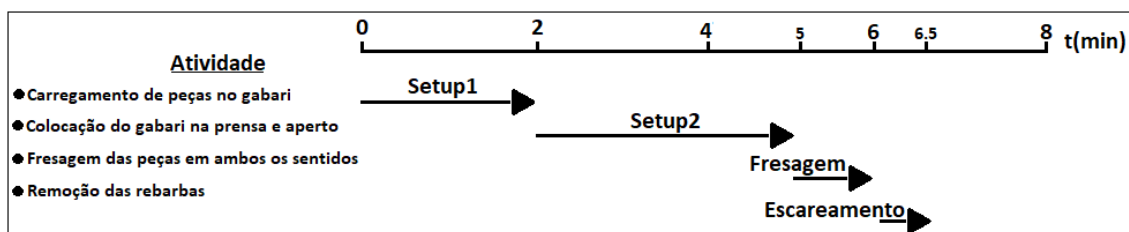


Figura 4 - Diagrama de tempo de maquinagem versus tempo de preparação

### 3.1.7 Estudo económico

A produção destes suportes é encarada como um agrado a um cliente com um relacionamento de longos anos com a empresa, no entanto, a simples operação de chanfrar causa prejuízo e consome demasiado tempo de produção para o preço a que as peças são vendidas. O preço de venda de cada uma corresponde a quatro cêntimos. Como o material já vem disponibilizado pelo cliente não são contabilizados os custos de matéria-prima. Neste caso, o custo final é influenciado pelos custos associados à maquinagem, custos de ferramentas/acessórios (ver Tabela 17 [51]) e custo de fabrico do novo gabari (ver Figura 5). No custo/hora de uma máquina industrial, já estão contabilizados os custos de manutenção e energia, assim como o custo do operador. Aproximadamente a cada vinte operações, é necessário trocar a posição das pastilhas de corte, devido ao facto de estas se encontrarem na sua maioria desgastadas, deixando as peças uma rebarba forte, o que prejudica o processo de eliminação de rebarbas. Na tabela 18, 19 e 20, está representada a metodologia para o cálculo do custo de maquinagem, margem de lucro, e custo de produção, respetivamente. O custo de produção do novo gabari está representado na tabela 21 e o estudo económico do processo na tabela 22.



Figura 5 - Representação do novo gabari fabricado para a maquinagem em simultâneo de 35 peças.

Tabela 17 - Preço/unidade de pastilhas Tiger-tec® Gold, grade 2030, TiAlN+TiN [51].


Designação	Referência	Custo/unidade [€/unidade]	Tempo de vida útil [Nº Operações]	Custo dos insertos/operação [€/operação]
	ACMT060202R- G55 WKP35G	12,69	≈ 20	1.586

Tabela 18 - Custo maquinagem.

Custo Maquinagem ( $C_M$ )	$C_h \times (T_s + T_c)$
	$C_h$ – Custo/hora (€/h)
	$T_s$ – Tempo de setup (h)
	$T_c$ – Tempo de ciclo (h)

Tabela 19 - Margem de lucro.

Margem de Lucro (%)	$((P_v - C_p)/P_v) \times 100$
---------------------	--------------------------------

Tabela 20 - Custo de produção.

Custo de produção (€)	$C_M + C_{MP} + C_{FER}$
-----------------------	--------------------------

Tabela 21 - Custo de produção do novo gabari.

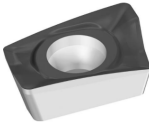
Designação	Custo/hora (€/h)	Tempo de maquinagem (h)	Custo de produção (€)
Gabari	30	2	60

Tabela 22 - Análise económica da venda dos suportes distanciadores com a utilização do antigo gabari.

Descrição	Custo de produção (€)	Preço de venda (€)	Margem de lucro (%)	Lucro Total (€)
Suporte distanciadores (antigo gabari)	852	80	-	-772
Suporte distanciadores (novo gabari)	326.45	80	0	-246.45

Embora se tenha otimizado o processo, continua-se a ter prejuízo com a sua produção. Uma forma de reduzir o custo de fabrico, seria utilizar pastilhas dedicadas ao corte deste tipo de material (ver tabela 23), aço inoxidável (M), pois as que estão em corrente uso são destinadas ao trabalho de materiais do tipo P (Aço) e K (ferro fundido), o que prejudica severamente a resistência ao desgaste e a otimização da ferramenta. Foi utilizado o *software online* Walter GPS 6.1 (ver anexo 2, [52]) para determinar o custo dos insertos/operação, simulando as condições de maquinagem existentes e respetivos parâmetros.

Tabela 23 - Preço/unidade de pastilhas Tiger-Tec®, TiAlN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+(Al).

Designação	Referência	Custo/unidade [€/unidade]	Tempo de vida útil [Nº Operações]	Custo dos insertos/operação [€/operação]
	ACMT060204R- K55 WSM35S	11.75	Tempo de vida útil ≈ 131	0.223

## 3.2 Caso de estudo 2

### 3.2.1 Descrição peça complexa

A empresa, tem uma encomenda de mil unidades de suportes de tacómetros (Figura 6) para a indústria ferroviária. A produção destes componentes efetua-se cerca de três vezes por ano. A dificuldade nesta peça, está no melhoramento de um *layout* de uma placa de alumínio, AW 5083 e no planeamento de um sistema de aperto que torne possível a maquinação destes componentes. O que se pretende é reduzir o custo de produção, uma das formas é reduzir o desperdício de material através do melhoramento da disposição das peças na placa.

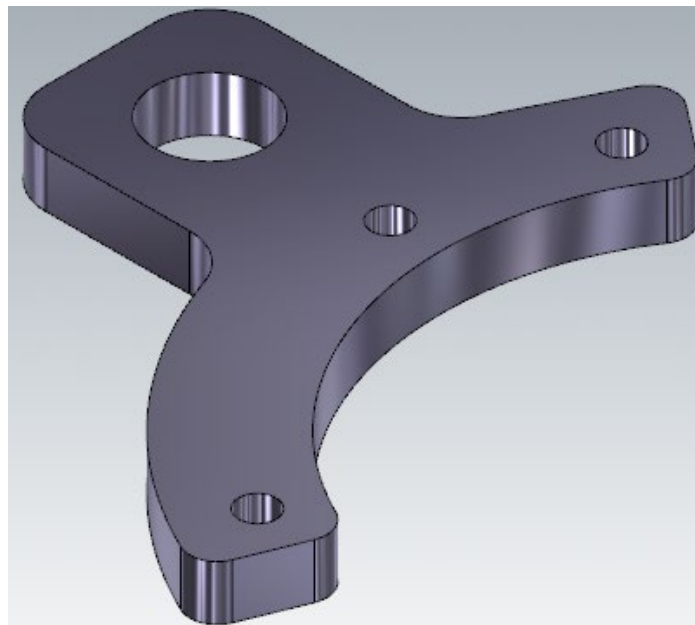


Figura 6 - Representação do suporte do tacómetro.

O material da peça é o AlMg4.5Mn0.7, EN AW-5083. As suas características, composição química, propriedades físicas e mecânicas estão representadas na Tabela 24 [53].

Tabela 24 - Propriedades do material AW 5083 [53].

Elemento	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
<b>Composição (%)</b>	≤0.40	≤0.40	≤0.10	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	≤0.25	≤0.15	restante
<b>Propriedades mecânicas</b>	$R_{p0.2}$ [MPa]		$R_m$ [MPa]		<b>Dureza</b> [HB]		$A_{50}$ [%]		
Valores típicos	115-125		270-275		75		14-16		
<b>Propriedades físicas</b>	<b>Densidade</b> [ $g/cm^3$ ]		<b>E</b> [GPa]						
Valores típicos	2.66		70						

### 3.2.2 Análise do ciclo produtivo

A programação da peça é realizada linha a linha (ver tabela 25) e a produção de cada componente é unitária. A fabricação do suporte do tacómetro é efetuada em duas máquinas distintas, nomeadamente, uma CNC Fagor 8055i de três eixos (ver tabela 26-características da máquina CNC) e num braço de roscar pneumático. Na máquina CNC, o programa de fabrico é composto por dois apertos. No primeiro, o aperto é lateral e efetua-se a operação de furação para M10, assim como a furação  $\varnothing 20$  milímetros. No segundo, o aperto é feito pelos parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interno M8, e a operação que se procede é o desbaste do contorno exterior. Por fim, no braço de roscar pneumático rosca-se a M10.

Tabela 25 - Programação linha a linha, CNC Fagor 8055i, linguagem ISO e respetivas legendas de símbolos.

Linguagem ISO, CNC Fagor 8055i	
<b>N10</b> T1 D2 M6	<b>N200</b> G03 X25.623 Y26.629 R10
<b>N20</b> S2000 M3	<b>N210</b> G02 X34.603 Y44.32 R79
<b>N30</b> G0 Z100	<b>N220</b> G02 X41.82 Y45.455 R5
<b>N40</b> X41.976 Y33.5 Z20	<b>N230</b> G01 X50.907 Y38.356
<b>N50</b> G98 G81 Z2 I-14 F350 M8	<b>N240</b> G02 X52.003 Y31.662 R5
<b>N60</b> G0 X33 Y0	<b>N250</b> G03 X74.264 Y-51.419 R57.5
<b>N70</b> X66.5 Y-58.024	<b>N260</b> G02 X76.662 Y-57.763 R5
<b>N80</b> G80 M9	<b>N270</b> G01 X72.342 Y-68.455
<b>N90</b> Z100	<b>N280</b> G02 X65.525 Y-71.081 R5
<b>N100</b> M00	<b>N290</b> G02 X25.623 Y-26.629 R79
<b>N110</b> T2 D2 M6	<b>N300</b> G03 X16.209 Y-20 R10
<b>N120</b> S1800 M3	<b>N310</b> G01 X-10
<b>N130</b> G0 Z100	<b>N320</b> G02 X-20 Y-10 R10
<b>N140</b> X-30 Y0	<b>N330</b> G01 X-20 Y25
<b>N150</b> Z2	<b>N340</b> G00 X-30 G40

<b>N160</b> G91 Z-3	<b>N350</b> Y0	
<b>N170</b> G90 G1 X-20 Y10 F400 M8 G41	<b>RPT(N60,N250)N3</b>	
<b>N180</b> G02 X-10 Y20 R10	<b>N360</b> G0 Z150 M9	
<b>N190</b> G1 X16.209	<b>N370</b> M30	
M6-Troca de ferramenta;	M00-Paragem do programa;	G80- Anula ciclo;
M3-Rotação anti-horário;	M30-Fim do programa;	G90-Cotas absolutas;
M8- Ligar refrigeração;	G81-Ciclo fixo de furação direta;	G91-Cotas incrementais;
M9- Desligar refrigeração;	T1-broca Ø8.5mm;	T2- Fresa topo HSS 10 mm;
G01-Movimento linear;	RPT – Subprograma, repete o ciclo de N60-N250, três vezes;	
G02- Movimento curvilíneo sentido horário;	G41- Compensação de raio à esquerda;	
G03- Movimento curvilíneo sentido anti-horário;	G40 - Anula compensação.	

Tabela 26 - Características técnicas CNC Fagor 8055i.

Especificações	Unidades	CNC Fagor 8055i
<b>Cabeçote</b>		
Cone de fixação da ferramenta		<b>BT-40</b>
Sistema de fixação do cone		<b>Pneumático</b>
Velocidade	[rpm]	<b>7500</b>
<b>Motores</b>		
Potência árvore	[kW]	<b>20</b>
Potência motores X, Y, Z	[N·m]	<b>20.8</b>
<b>Dimensões da mesa</b>	[mm]	<b>2185 x 813</b>
<b>Cursos e distâncias</b>		
Curso Longitudinal (eixo X)	[mm]	<b>2000</b>
Curso Transversal (eixo Y)	[mm]	<b>870</b>
Curso Vertical (eixo Z)	[mm]	<b>710</b>
<b>Avanços Rápidos</b>		
Eixos X / Y	[mm/min]	<b>18000</b>
Eixo Z	[mm/min]	<b>10000</b>
<b>Avanços de Trabalho</b>		
Eixos X / Y / Z	[mm/min]	<b>1-5000</b>

A base de maquinaria é fabricada em alumínio AW 5083, tendo dimensões idênticas à placa a trabalhar, com uma espessura de 30 mm (Ver Figuras 7 e 8).




Figura 7 – Vista frontal da placa base de alumínio.



Figura 8 – Vista lateral da placa base de alumínio.

Na tabela 27, está representada a ficha de fabrico referente à primeira posição de maquinagem.

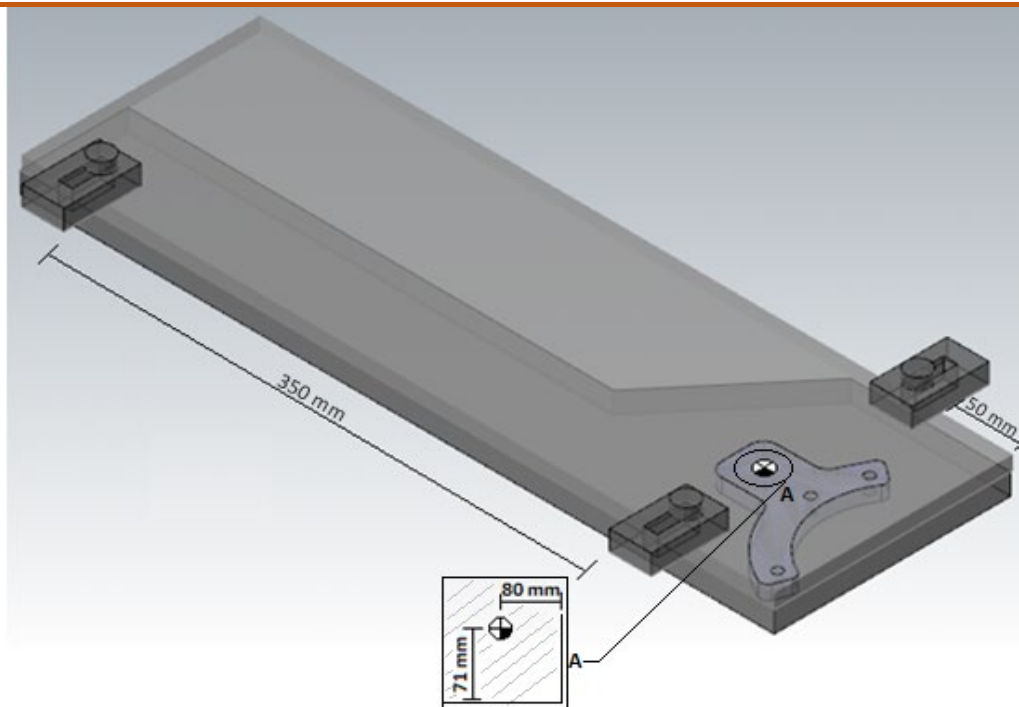
Tabela 27 - Ficha de fabrico referente à primeira posição de maquinagem da atual metodologia.

 <b>Ficha de Fabrico</b>			
Ficha de fabrico Nº: <b>AR_PROJ_MAQ_L1</b>	Descrição: <b>Suporte do tacómetro</b>	Desenho Nº: <b>PROJ_MAQ_L1</b>	Posição de maquinagem Nº: <b>1/2</b>
Total de posições: <b>2</b>	Material: <b>AW-5083</b>	Dimensões: <b>540 mm x 170 mm x 10 mm</b>	
Desenhos/Tabela:			
Desenho:	Ficha de ferramenta	Outros	
ID:	<input type="text" value="T_PROJ_MAQ_L1"/>	:	<input type="text"/>
Responsável:		Data:	

## 1 Sistema de fixação (*Setup*)

1.1 Sistema de fixação <descrição/Nº>: Aperto mecânico

1.2 Croqui/Instruções de montagem:



1.3 Observações:

Zero-Peça ;

Apertos mecânicos em três pontos;

 Instituto Superior de Engenharia do Porto	Ficha de Fabrico
---	------------------

2 Sequência de Operações				
Op. <ID>	Sub-Op <ID>	Descrição	Ferr. nº	Notas
<b>P1</b>		<b>Preparação e Setup</b>		
	P1.1	Montar e alinhar base		
	P1.2	Montar e apertar bloco de matéria-prima		
	P1.3	Marcar e memorizar ponto de referência peça (Zero-Peça)		
	P1.4	Preparar/montar/ trocar ferramentas		
	P1.5	Editar o programa		

Maquinagem				
M1	Furação			
	M1.1	Furar (M10)	1	
	M1.2	Furo Ø20	2	

Na segunda etapa de maquinagem, são utilizados parafusos CHC M8, para apertar a peça à placa base. Como a abertura do furo já tem um diâmetro de 8.5 mm, posteriormente efetua-se a roscagem para M10, uma vez que o passo é de 1.5 mm. A profundidade da rosca (B) na placa base é de 16 mm e a do furo (q) é de 24 mm (ver Figuras 28 e 29, Anexo 2). Na tabela 28, estão representados os tempos de *setup* da corrente metodologia de fabrico.

Tabela 28 - Tempos de *setup* da atual metodologia.

Descrição	Método	Tempo (s)
Tempo de montagem da base na mesa CNC	Manual e apertos mecânicos	300
Tempo de alinhamento da base	Comparador mecânico	900
Tempo de montar e preparar ferramentas	Manual	840
Tempo de memorizar e marcar zero-peça	Centrador mecânico	300
Tempo de edição <i>software</i> CAD	<i>Inventor</i>	3 600
Tempo de editar o programa	Manual, linha a linha	5 400
<i>Total<sub>TS</sub></i>		11 340

Na tabela 29, está representada a ficha de fabrico referente à segunda posição de maquinagem.

Tabela 29 - Ficha de fabrico referente à segunda posição de maquinagem da atual metodologia.

	Ficha de Fabrico
---	------------------

Ficha de fabrico Nº: <b>AR_PROJ_MAQ_L1</b>	Descrição: <b>Suporte do tacómetro</b>	Desenho Nº: <b>PROJ_MAQ_L1</b>	Posição de maquinagem Nº: <b>2/2</b>
Total de posições: <b>2</b>	Material: <b>AW-5083</b>	Dimensões: <b>540 mm x 170 mm x 10 mm</b>	

Desenhos/Tabelas:

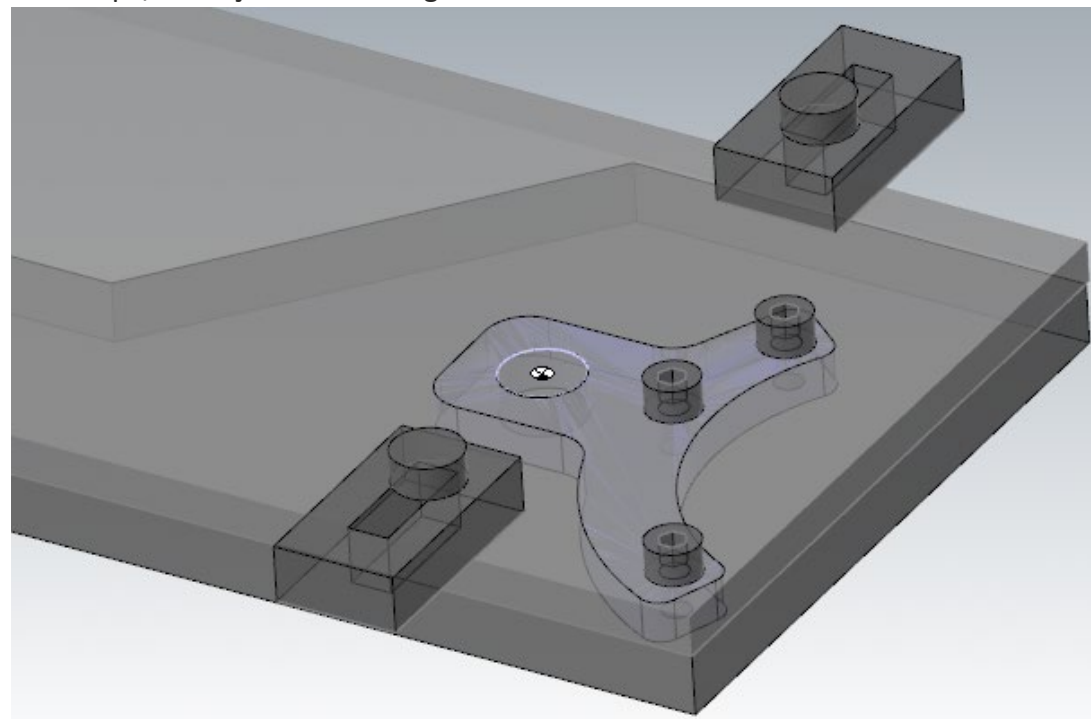
Desenho:	Ficha de ferramenta	T_PROJ_MAQ_L1	Outros	
ID:	<div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #FFD700; display: inline-block;"></div>	:	:	

Responsável:	Data:
--------------	-------

1	Sistema de fixação ( <i>Setup</i> )
---	-------------------------------------

1.1 Sistema de fixação &lt;descrição/Nº&gt;: Aperto mecânico

1.2 Croqui/Instruções de montagem:



1.3 Observações:

Zero-Peça ;

Aperto lateral e pelos furos roscados a M8;

Matriz em alumínio, espessura de 30 mm.

2 Sequência de Operações				
Op. <ID>	Sub-Op <ID>	Descrição	Ferr. nº	Notas
<b>P1</b>		<b>Preparação e Setup</b>		
	P1.1	Montar e alinhar base		-
	P1.2	Montar e apertar bloco de matéria-prima		
	P1.3	Marcar e memorizar ponto de referência peça (Zero-Peça)		-
	P1.4	Preparar/montar/ trocar ferramentas		-
	P1.5	Editar o programa		-

Maquinagem				
<b>M1</b>		<b>Desbaste</b>		
	M1.1	Contorno exterior	3	

No braço de roscar pneumático (Fig.9) rosca-se a M10 ,ver Tabela 30.

Tabela 30 - Operação de roscagem para M10 num braço de roscar pneumático.

Descrição	Ilustração	Função	Ferramenta Nº
Braço de roscar pneumático	 <p>Figura 9 – Braço de roscar pneumático.</p>	Roscar a M10	4


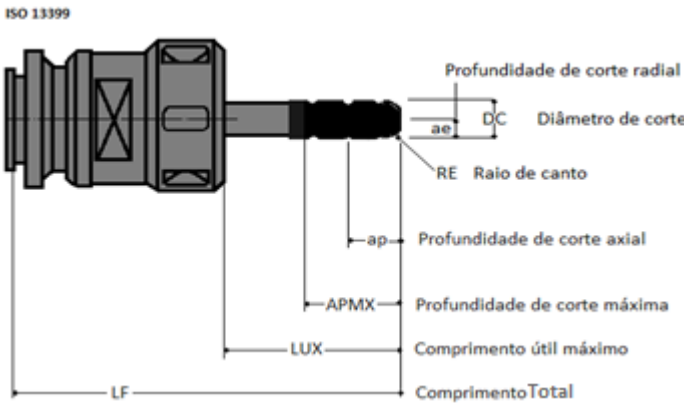

Os parâmetros de corte utilizados durante a maquinagem, foram selecionados pela análise de catálogos de fabricantes de ferramentas e pelas condições de maquinagem existentes. Para o material em questão, os valores utilizados estão representados na tabela 31.


Tabela 31 - Velocidade de rotação e de avanço aplicadas na corrente metodologia de fabrico dos suportes.

Operação	Ferramenta	Ângulo das navalhas	n (rpm)	Vf (mm/min.)
Furação	1- Broca HSS $\varnothing 8.5$ , sem revestimento	$130^\circ$	2300	350
Furação	2- Broca HSS $\varnothing 20$ , sem revestimento	$130^\circ$	1591	250
Contorno exterior	3- Fresa HSS $\varnothing 10$ , sem revestimento	$30^\circ$	2000	400

Na ficha de ferramentas que se segue (ver Tabela 32), pode-se visualizar a descrição detalhada das ferramentas de corte utilizadas no fabrico da peça final da atual metodologia de fabrico.

Tabela 32 - Ficha de ferramentas da atual metodologia de fabrico.

 <b>Ficha de Ferramentas</b>				
Ficha de fabrico Nº: <b>AR_PROJ_MAQ_L1</b>		Ficha de ferramentas ID: <b>T_PROJ_MAQ_L1</b>		
				
Ferr. (nº): <b>1</b>	 Figura 10 - Broca HSS $\varnothing 8.5$ .			
Dados do fabricante				
Descrição da ferramenta: <b>Broca de HSS</b>			Ferramenta ID: -	Pastilhas ID: n/a
Descrição do suporte: <b>Cone porta pinças</b>			Suporte ID: -	
Diâmetro (DC) [mm]: <b>8.5</b>	Veloc. De corte (Vc)[m/min]: <b>61</b>	Número de arestas (z) <b>2</b>	Avanço por aresta (fz) ou por rotação (fn): -	Prof. de corte máx (APMX) [mm]: -

Ferr. (nº): <b>3</b>	 <p>Figura 11 - Fresa de topo HSS Ø10.</p>			
<b>Dados do fabricante</b>				
Descrição da ferramenta: <b>Broca de topo HSS</b>			Ferramenta ID: -	Pastilhas ID: <b>n/a</b>
Descrição do suporte: <b>Cone porta bucha</b>			Suporte ID: -	
Diâmetro (DC) [mm]: <b>10</b>	Veloc. De corte (Vc) [m/min]: <b>60</b>	Número de arestas (z): <b>2</b>	Avanço por aresta (fz) ou por rotação (fn): -	Prof. de corte máx (APMX) [mm]: -

Ferr. (nº): <b>4</b>	 <p>Figura 12 - Macho M10.</p>			
<b>Dados do fabricante</b>				
Descrição da ferramenta: <b>Macho HSS</b>			Ferramenta ID: -	Pastilhas ID: -
Descrição do suporte: <b>Desandador</b>			Suporte ID: -	
Diâmetro (DC) [mm]: <b>10</b>	Veloc. De corte (Vc) [m/min]: -	Número de arestas (z): -	Avanço por aresta (fz) ou por rotação (fn): -	Prof. de corte máx (APMX) [mm]: -

### 3.2.3 Analisar custos

O preço da matéria-prima (ver Tabela 33), custos de maquinagem (atribuído um valor de mercado praticado pelas empresas da indústria metalomecânica, ver Tabela 34) e ferramentas (ver Tabela 35), correspondem aos gastos inerentes ao processo de fabrico da encomenda em causa (ver tabela 36).

Tabela 33 - Custos de matéria-prima, placas retangulares de alumínio AW 5083.

Descrição	Dimensão (mm)	Nº Placas a encomendar	Preço/Kg (€/kg)	Peso total (kg)	Preço (€)
<b>AW 5083</b>	<b>540 x 170 x 10</b>	<b>200</b>	<b>3.90</b>	<b>515.02</b>	<b>2008,578</b>

Tabela 34 - Custo/hora de maquinagem e respetivos tempos de produção.

Descrição	Custo/hora (€/h)	Nº Peças	Tempo de maquinagem/unidade (min/unidade)	Tempo total de produção disponibilizado (min)	Custo de maquinagem (€)
Máquina de roscar	30	1 000	0.75	780	390
Centro CNC	55	1 000	15.189	15 189	13 923.25

Tabela 35 - Custo de ferramentas de corte da atual metodologia de fabrico.

Descrição	Preço/unidade (€/uni.)	Preço/lote (€/lote)	Quantidade encomendada	Quantidade necessária	Preço (€)
Broca HSS Ø7.5	3.75	-	6	-	22.5
Broca HSS Ø8.5	6	-	5	-	30
Broca HSS Ø20	22.58	-	3	-	67.74
Fresa de topo metal duro Ø10	15	-	5	-	75
Macho HSS M10	12.53	-	3	-	37.59
Total					232.48

O custo de maquinagem de 14 313.25€ foi obtido através da fórmula presente na tabela 17, sendo que o tempo de produção (269.3h) resulta do somatório de todos os tempos que influenciam o processo, nomeadamente,  $Total_{TS}$  (3.15h) com o tempo total de maquinagem (266.15h). O custo de produção de 16 554.31€ foi obtido pela fórmula presente na tabela 20, onde o  $C_{MP}$  é de 2008.578 € e o  $C_{FER}$  de 232.48€.

Tabela 36 - Análise económica da atual metodologia de fabrico.


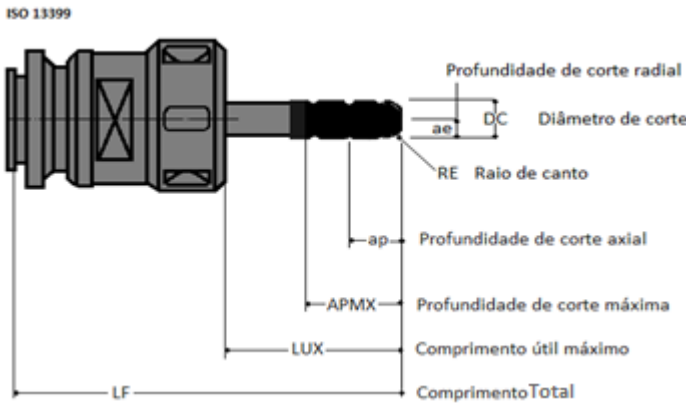

Descrição	Custo de produção (€)	Preço de venda (€)	Margem de lucro (%)	Lucro Total (€)
Suporte do tacómetro	16 554.31	30 400	≈ 46	13 845.69


### 3.2.4 Selecionar novas ferramentas


Após a análise dos parâmetros utilizados, características do material e da máquina foram selecionadas novas ferramentas com o objetivo de otimizar o processo de maquinagem, assim como o seu tempo de vida útil. As ferramentas foram selecionadas com base num software (*CoroPlus® Tool Guide*, ver Anexo2) de um fabricante de ferramentas (*Sandvik®*), simulando as

respetivas condições de corte. De seguida, é apresentada a ficha de ferramentas (ver Tabela 37), onde estão representadas as ferramentas selecionadas para o processo de maquinagem das peças e respetivos parâmetros de corte.


Tabela 37 - Ficha de ferramentas da nova metodologia teórica de fabrico.

 <b>Ficha de Ferramentas</b>				
Ficha de fabrico Nº: <b>AR_PROJ_MAQ_L</b> <b>2, 3, 4</b>		Ficha de ferramentas ID: <b>T_PROJ_MAQ_L2</b>		
				
Ferr. (nº):  <b>1</b>	 Figura 13 - Broca de pontos.			
Dados do fabricante				
Descrição da ferramenta: <b>Broca de ponto (HSS Co)</b>			Ferramenta ID: -	Pastilhas ID: <b>n/a</b>
Descrição do suporte: <b>Cone porta pinças</b>			Suporte ID: -	$P_C$ [kW]: -
Diâmetro (DC) [mm]: <b>8</b>	Veloc. De corte (Vc) [m/min]: <b>80</b>	Número de arestas (z) <b>2</b>	Avanço por aresta (fz) ou por rotação (fn): <b>0.2 mm/rot</b>	Prof. de corte máx (APMX) [mm]: <b>10</b>
Dados do Programador				
RPM (n) [r/min]: <b>3183</b>	Velocidade de avanço (vf) [mm/min]: <b>600</b>	Profundidade de corte axial (ap) [mm]: <b>3</b>	Profund. De corte radial (ae) [mm]: -	
Comprimento útil Máx (LUX) [mm]: <b>30</b>		Offset do diâmetro ID: <b>1</b>	Offset do Comprimento ID: <b>1</b>	

Ferr. (nº):  <b>2</b>	 <p>Figura 14 - Broca de metal duro, Sandvik®.</p>			
<b>Dados do fabricante</b>				
Descrição da ferramenta: <b>Broca inteira de metal duro, PVD TIALN</b>			Ferramenta ID: <b>460.1-0850-026A0-XMGC34</b>	Pastilhas ID: <b>-</b>
Descrição do suporte: <b>Cone porta bucha</b>			Suporte ID: <b>-</b>	$P_C$ [[kW]: <b>1.71</b>
Diâmetro (DC) [mm]: <b>8.5</b>	Veloc. De corte (Vc) [m/min]: <b>190</b>	Número de arestas (z) <b>2</b>	Avanço por aresta (fz) ou por rotação (fn): <b>0.254 mm/rot</b>	Prof. de corte máx (APMX) [mm]: <b>26.8</b>
<b>Dados do Programador</b>				
RPM (n) [r/min]: <b>7100</b>	Velocidade de avanço (vf) [mm/min]: <b>1800</b>	Profundidade de corte axial (ap) [mm]: -	Profund. De corte radial (ae) [mm]: -	
Comprimento útil Máx (LUX) [mm]: <b>≥40</b>		Offset do diâmetro ID: <b>2</b>	Offset do Comprimento ID: <b>2</b>	

Ferr. (nº):  <b>3</b>	 <p>Figura 15 - Fresa de topo metal duro, Sandvik®.</p>			
<b>Dados do fabricante</b>				
Descrição da ferramenta: <b>Fresa de topo de metal duro</b>			Ferramenta ID: <b>R216.33-10040-AJ14UH10F</b>	Pastilhas ID: <b>n/a</b>
Descrição do suporte: <b>Cone porta pinças</b>			Suporte ID: <b>-</b>	$P_C$ [kW]: <b>1.86</b>
Diâmetro (DC) [mm]: <b>10</b>	Veloc. De corte (Vc) [m/min]: <b>222</b>	Número de arestas (z) <b>3</b>	Avanço por aresta (fz) ou por rotação (fn): <b>0.141 mm/aresta</b>	Prof. de corte máx (APMX) [mm]: <b>14</b>
<b>Dados do Programador</b>				
RPM (n) [r/min]: <b>7080</b>	Velocidade de avanço (vf) [mm/min]: <b>2990</b>	Profundidade de corte axial (ap) [mm]: <b>7</b>	Profund. De corte radial (ae) [mm]: <b>10</b>	
Comprimento útil Máx (LUX) [mm]: <b>≥40</b>		Offset do diâmetro ID: <b>3</b>	Offset do Comprimento ID: <b>3</b>	

Ferr. (nº): <b>4</b>	 Figura 16 - Broca metal duro, Sandvik®.			
<b>Dados do fabricante</b>				
Descrição da ferramenta: <b>Broca inteiraça de metal duro, PVD TIALN</b>		Ferramenta ID: <b>460.1-2000-060A0-XMGC34</b>		Pastilhas ID: <b>n/a</b>
Descrição do suporte: <b>Cone porta bucha</b>		Suporte ID: <b>-</b>		$P_C$ [kW]: <b>5.79</b>
Diâmetro (DC) [mm]: <b>20</b>	Veloc. De corte (Vc) [m/min]: <b>183</b>	Número de arestas (z): <b>2</b>	Avanço por aresta (fz) ou por rotação (fn): <b>0.44 mm/rot</b>	Prof. de corte máx (APMX) [mm]: <b>23.6</b>
<b>Dados do Programador</b>				
RPM (n) [r/min]: <b>2910</b>	Velocidade de avanço (vf) [mm/min]: <b>1280</b>	Profundidade de corte axial (ap) [mm]: -		Profund. De corte radial (ae) [mm]: -
Comprimento útil Máx (LUX) [mm]: <b>≥40</b>		Offset do diâmetro ID: <b>4</b>		Offset do Comprimento ID: <b>4</b>

Ferr. (nº): <b>5</b>	 Figura 17 - Macho M10, Sandvik®.			
<b>Dados do fabricante</b>				
Descrição da ferramenta: <b>Macho M10</b>		Ferramenta ID: <b>T300-XM102AA-M10 C110</b>		Pastilhas ID: <b>-</b>
Descrição do suporte: <b>Cone porta-machos</b>		Suporte ID: <b>-</b>		$P_C$ [kW]: <b>0.59</b>
Diâmetro (DC) [mm]: <b>10</b>	Veloc. De corte (Vc) [m/min]: <b>62.2</b>	Número de arestas (z): <b>2</b>	Avanço por aresta (fz) ou por rotação (fn): <b>1.5 mm/rot</b>	Prof. de corte máx (APMX) [mm]: <b>23.6</b>
<b>Dados do Programador</b>				
RPM (n) [r/min]: <b>1980</b>	Velocidade de avanço (vf) [mm/min]: <b>2970</b>	Profundidade de corte axial (ap) [mm]: -		Profund. De corte radial (ae) [mm]: -
Comprimento útil Máx (LUX) [mm]: <b>≥40</b>		Offset do diâmetro ID: <b>5</b>		Offset do Comprimento ID: <b>5</b>

Para se poder realizar a maquinagem, será necessário o fabrico de uma placa base (ver figura 18). Esta é composta por aço temperado para uma dureza de 340 HB, a sua designação segundo a norma DIN é : X 33 Cr S 16. Os furos M8 têm uma altura do furo roscado de 15 mm e uma altura do furo liso criado pela broca de 20 mm (ver Figura 28, Anexo 2).

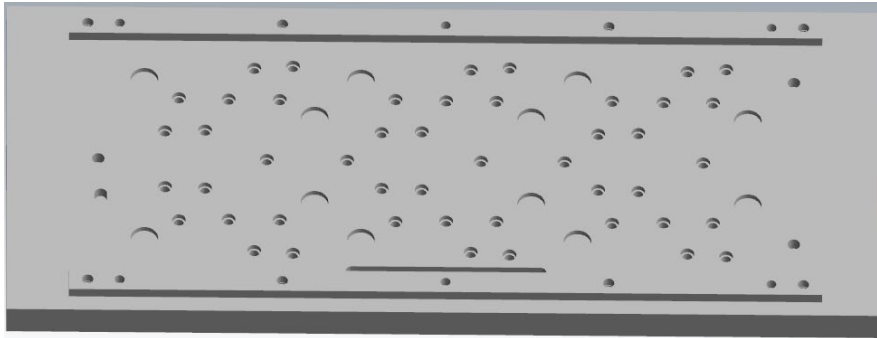


Figura 18 - Placa base de aço inoxidável 416+S com 30 mm de espessura.

Os parâmetros de corte para este material são sugeridos pelo fornecedor (ver Tabela 38) [54]. Foi utilizado o *software* Mastercam2017 e identificou-se um tempo de maquinagem inferior a uma hora. As razões para a seleção deste tipo de material, devem-se ao facto de possuir excelentes características, como:

- Boa resistência à corrosão;
- Endurecimento uniforme até mesmo em grandes dimensões;
- Boa maquinabilidade;
- Boa resistência ao desgaste.

Tabela 38 - Parâmetros de corte ideais fornecidos pelo fabricante, no processo de furação e fresagem [54].

Parâmetros de corte	Furação – Broca de metal duro		
	<i>Indexable insert</i>	<i>Solid Carbide</i>	<i>Carbide tipped</i>
Vc (m/min)	180-200	90-110	60-90
Vf (mm/rev)	0.05-0.15 ( $\varnothing$ 20-40 mm)	0.08-0.20 ( $\varnothing$ 5-20 mm)	0.15-0.25 ( $\varnothing$ 10-20 mm)
	Fresagem de topo		
	Fresa com pastilhas intercambiáveis de metal duro	Fresa de metal duro	Fresa de aço rápido
Vc (m/min)	100-140	70-100	30-35
Vf (mm/rev)	180-200	0.006-0.20	0.01-0.35

As barras transversais (ver figura 19) são fabricadas em aço F10, têm uma dimensão de 274 mm x 20 mm x 20 mm. São compostas por ligações aparafusadas e soldadas. Uma barra é posicionada longitudinalmente, com o objetivo, de impedir a deflexão das barras.

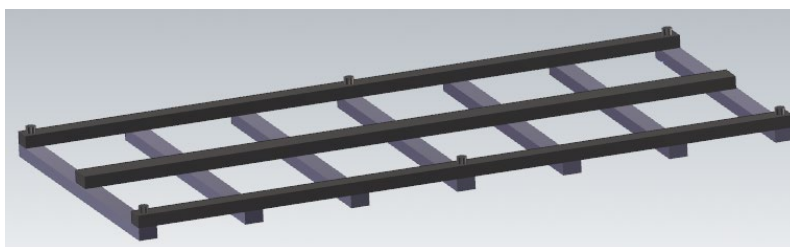


Figura 19 - Grelha de barras para a terceira posição de maquinagem.

### 3.2.5 Estudo do novo ciclo produtivo



No novo ciclo produtivo, a fabricação do suporte do tacómetro seria efetuada exclusivamente na máquina CNC Fagor 8055i (fresadora de 3-eixos). Em ordem de otimizar o processo de fabrico das peças em causa, a programação é realizada com o recurso ao software CAD *SolidWorks* e ao *Mastercam2017*. A fabricação passa a ser considerada uma produção em série e, por conseguinte, foram fabricadas e selecionadas novas ferramentas para o fabrico da peça final. O programa de fabrico é composto por três apertos. No primeiro, o aperto é lateral e seria feita a furação para M10 ( $\varnothing 8.5$ ). No segundo, o aperto é feito pelos parafusos M8 e a operação que se segue é o contorno exterior e a furação  $\varnothing 20$  milímetros. No terceiro e último aperto, é necessário retirar primeiramente os apertos laterais e fixar-se-ia a peça com sete barras transversais, de modo a ser possível a roscagem dos furos para M10. Após estas estarem fixas, retira-se os parafusos e procede-se para a maquinagem. Na tabela 39, estão representados os tempos de *setup* que são comuns a todas as peças fabricadas.

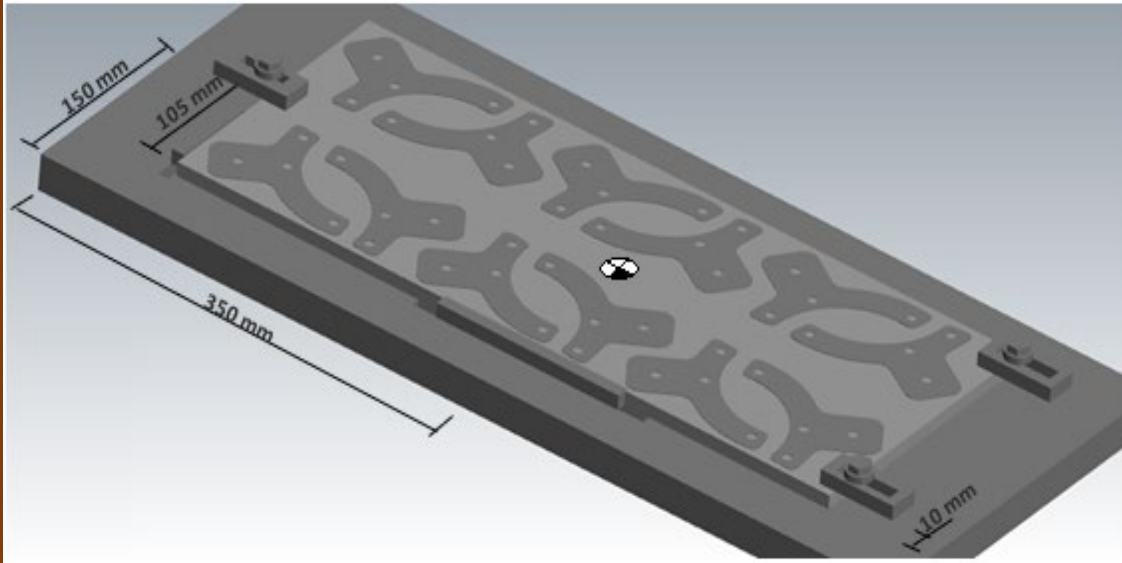
Tabela 39 - Tempos de *setup* da metodologia teórica de maquinagem.

Descrição	Método	Tempo (s)
Tempo de montagem da base na mesa CNC	Manual e apertos mecânicos	300
Tempo de alinhamento da base	Comparador mecânico	900
Tempo de montar e preparar ferramentas	Manual	900
Tempo de memorizar e marcar zero-peça	Centrador mecânico	300
Tempo de edição <i>software</i> CAD	<i>Solidworks</i>	3 600
Tempo de programação <i>software</i> CAM	<i>MasterCam2017</i> , simulador	900
	Total	6 900

Na tabela 40, está representada a ficha de fabrico referente à primeira posição de maquinagem.

Tabela 40 - Ficha de fabrico da metodologia teórica de maquinagem, primeira posição.

 <b>Ficha de Fabrico</b>			
Ficha de fabrico Nº: <b>AR_PROJ_MAQ_L2</b>	Descrição: <b>Suporte do tacómetro</b>	Desenho Nº: <b>PROJ_MAQ_L2, (ver Fig.27)</b>	Posição de maquinagem Nº: <b>1/3</b>
Total de posições: <b>3</b>	Material: <b>AW-5083</b>	Dimensões: <b>540 mm x 210 mm x 10 mm</b>	
Desenhos/Tabelas:			
Desenho:	Ficha de ferramenta	T_PROJ_MAQ_L2	Outros
ID:		:	Tabela 41 Tempos (s)
Responsável:		Data:	

<b>1</b>	<b>Sistema de fixação (Setup)</b>
1.1 Sistema de fixação <descrição/Nº>: Aperto mecânico.	
1.2 Croqui/Instruções de montagem:	
	

## 1.3 Observações:

Zero-Peça ;

Aperto lateral em três pontos;

Batentes laterais para posicionamento da placa;

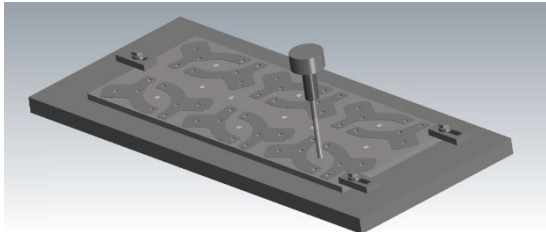
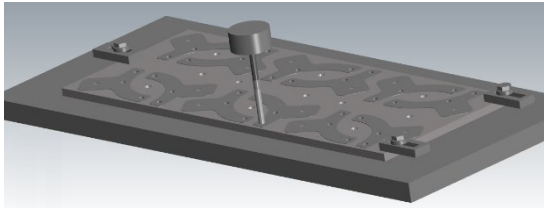
Matriz em aço endurecido, espessura de 30 mm.

2 Sequência de Operações				
Op. <ID>	Sub-Op <ID>	Descrição	Ferr. nº	Notas
<b>P1</b>		<b>Preparação e Setup</b>		
	P1.1	Montar e alinhar base		
	P1.2	Montar e apertar bloco de matéria-prima		
	P1.3	Marcar e memorizar ponto de referência peça (Zero-Peça)		
	P1.4	Preparar e montar ferramentas		
	P1.5	Editar o programa		

Maquinagem				
M1		Furação		
	M1.1	Pontear (M10)	1	
	M1.2	Furos (M10)	2	



Na tabela 41, está identificado os tempos de montagem, troca de ferramentas e tempo de ciclo da primeira posição de maquinagem.

Tabela 41 - Tempo de aperto e de ciclo da 1ª posição de maquinagem.

Descrição	Ilustração	Tempo		
		TMA (s)	TTF (s)	TC (s)
<b>1º Aperto</b>				
Pontear		180	60	155
Furação M10				12.92/peça

Na tabela 42, está representada a ficha de fabrico referente à segunda posição de maquinagem.

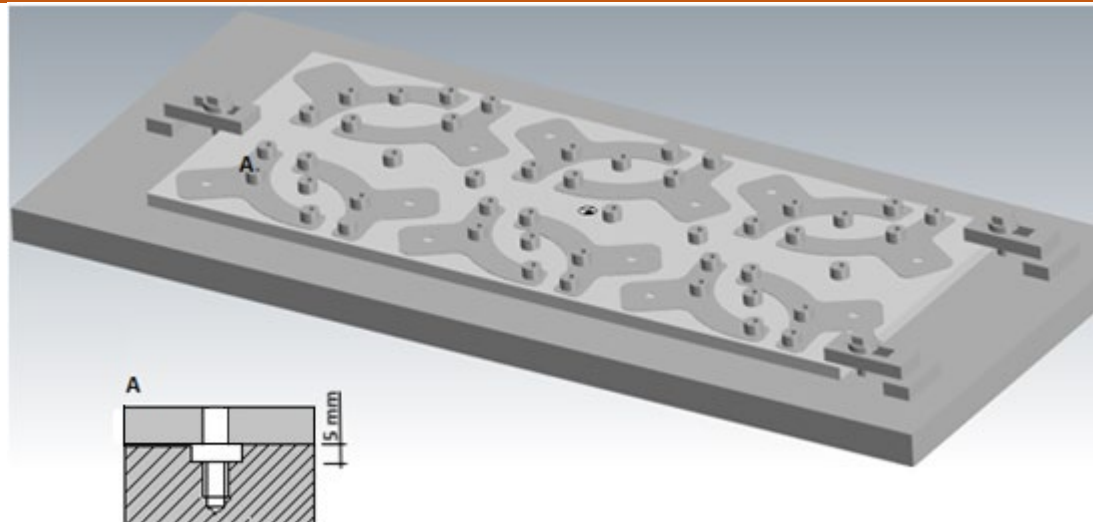
Tabela 42 - Ficha de fabrico da metodologia teórica de maquinagem, segunda posição.

 <b>Ficha de Fabrico</b>			
Ficha de fabrico Nº: <b>AR_PROJ_MAQ_L3</b>	Descrição: <b>Suporte do tacómetro</b>	Desenho Nº: <b>PROJ_MAQ_L2</b>	Posição de maquinagem Nº: <b>2/3</b>
Total de posições: <b>3</b>	Material: <b>AW-5083</b>	Dimensões: <b>540 mm x 210 mm x 10 mm</b>	
Desenhos/tabelas:			
Desenho: Ficha de ferramenta	<b>T_PROJ_MAQ_L2</b>	Outros: Tabela 43	Tempo (s)
ID: 			
Responsável:		Data:	

## 1 Sistema de fixação (*Setup*)

1.1 Sistema de fixação <descrição/Nº>: Aperto mecânico

1.2 Croqui/Instruções de montagem:



1.3 Observações:

Zero-Peça ;

Aperto lateral e pelos furos roscados a M8 (total de 47 furos);

Caixas de 5 mm na posição dos furos M8, localizadas na matriz- Esboço A;

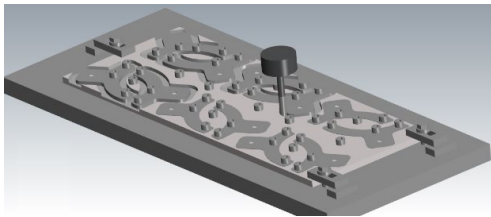
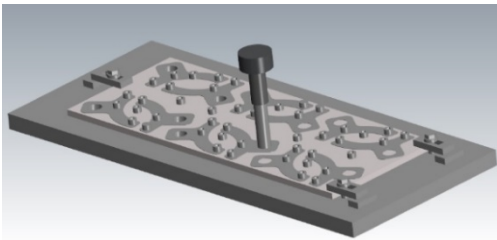
Matriz em aço endurecido, espessura de 30 mm.

2 Sequência de Operações				
Op. <ID>	Sub-Op <ID>	Descrição	Ferr. nº	Notas
P1		<b>Preparação e Setup</b>		
	P1.1	Montar e alinhar base		
	P1.2	Montar e apertar bloco de matéria-prima		
	P1.3	Marcar e memorizar ponto de referência peça (Zero-Peça)		
	P1.4	Preparar e montar ferramentas		
	P1.5	Editar o programa		

Maquinagem				
M1	Desbaste			
	M1.1	Contorno exterior	3	
M2	Furação			
	M2.1	Furo Ø20 mm	4	



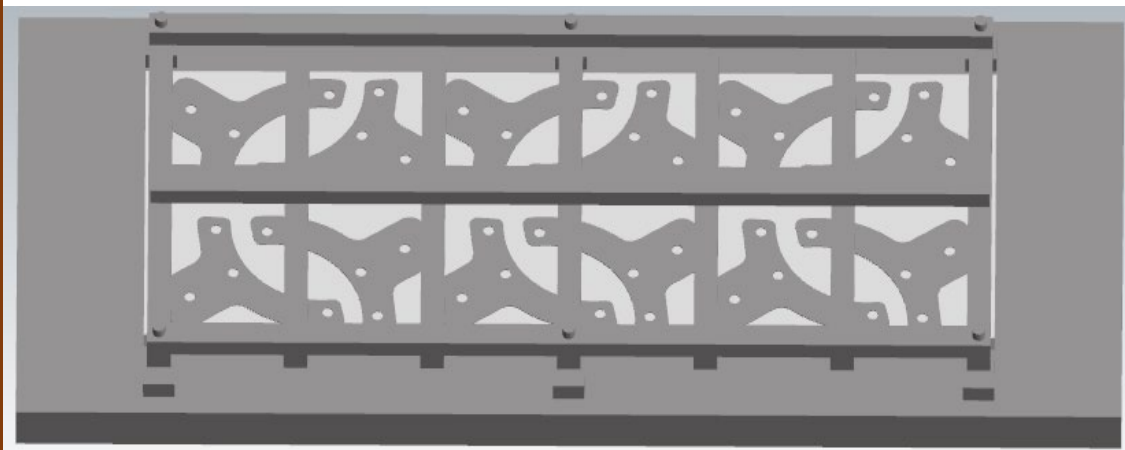

Na tabela 43, está identificado os tempos de montagem, troca de ferramentas e tempo de ciclo da segunda posição de maquinagem.

Tabela 43 - Tempo de *setup* e de ciclo 2º aperto.

Descrição	Ilustração	Tempo		
		TMA (s)	TTF (s)	TC (s)
<b>2º Aperto</b>				
Contorno exterior		1410	60	241 20.12/peça
Furação Ø 20				

Na tabela 44, está representada a ficha de fabrico referente à terceira posição de maquinagem.

Tabela 44 - Ficha de fabrico da metodologia teórica de maquinagem, terceira posição.

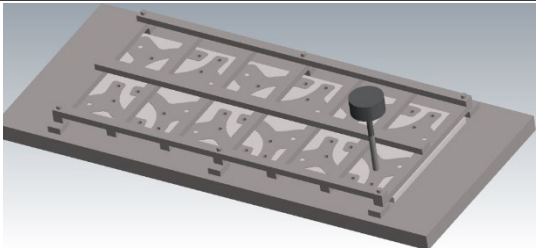
 <b>Ficha de Fabrico</b>			
Ficha de fabrico Nº: <b>AR_PROJ_MAQ_L4</b>	Descrição: <b>Suporte do tacómetro</b>	Desenho Nº: <b>PROJ_MAQ_L2</b>	Posição de maquinagem Nº: <b>3/3</b>
Total de posições: <b>3</b>	Material: <b>AW-5083</b>	Dimensões: <b>540 mm x 210 mm x 10 mm</b>	
Desenhos/tabelas:			
Desenho: ID:	Ficha de ferramenta 	<b>T_PROJ_MAQ_L2</b>	Outros : <b>Tabela 45</b> <b>Tempo (s)</b>
Responsável:		Data:	
<b>1</b>	<b>Sistema de fixação (Setup)</b>		
1.1 Sistema de fixação <descrição/Nº>: Aperto mecânico			
1.2 Croqui/Instruções de montagem:			
			
1.3 Observações:			
Zero-Peça  ;			
Aperto grelha de barras;			
Um décimo de diferença de alturas, para aperto de compressão.			

2 Sequência de Operações				
Op. <ID>	Sub-Op <ID>	Descrição	Ferr. nº	Notas
<b>P1</b>		<b>Preparação e Setup</b>		
	P1.1	Montar e alinhar base		
	P1.2	Montar e apertar bloco de matéria-prima		
	P1.3	Marcar e memorizar ponto de referência peça (Zero-Peça)		
	P1.4	Preparar e montar ferramentas		
	P1.5	Editar o programa		

Maquinagem				
M1	Roscar			
	M1.1	Furos M10	5	

Na tabela 45, está identificado os tempos de montagem, troca de ferramentas e tempo de ciclo da segunda posição de maquinagem.

Tabela 45 - Tempo de *setup* e de ciclo 3ºaperto.

Descrição	Ilustração	Tempo teórico		
		TMA (s)	TTF (s)	TC (s)
<b>3ºAperto</b>				
Roscar M10		705	-	88 7.33/peça

O tempo de produção ( $T_p$ ), em horas, de mil suportes distanciadores (Tabela 46) engloba o somatório do tempo de *setup* (tabela 39) com os tempos de montagem, troca de ferramentas e tempo de ciclo (Tabelas 41, 43 e 45) na produção de oitenta e quatro placas (doze peças produzidas por placa).

Tabela 46 - Tempo de produção de 1 000 suportes distanciadores.

TP	[h]	70
----	-----	----

### 3.2.6 Estudo económico

As peças são vendidas à unidade, e o preço de venda com a taxa de IVA a 23% incluída é de 30,40€ por unidade. Os custos referentes ao fabrico das peças, são os custos de matéria-prima (ver tabelas 47), custos de ferramentas de corte (ver tabela 48) e ferramentas de auxílio à maquinagem, nomeadamente, base, aperto de barras e parafusos, e por fim custos associados à maquinagem. Os tempos de vida útil das ferramentas de corte estão representados na tabela 49.

Tabela 47 - Tabela de custos da matéria-prima.

Descrição	Dimensão (mm)	Nº Placas a encomendar	Preço/kg (€/kg)	Peso total (kg)	Preço (€)
AW-5083	540 x 210 x 10	84	3.90	265.75	1036.42
AISI 416+S	700 x 300 x 30	1	10	48.95	489.51

Tabela 48 - Tabela de custos das ferramentas utilizadas na otimização do *layout* da placa.

Descrição	Preço/unidade (€/uni.)	Preço/lote (€/lote)	Quantidade encomendada	Quantidade necessária	Preço (€)
Broca de metal dura Ø8.5	67	-	2	1	134
Broca de metal dura Ø20	272.76	-	2	1	544
Fresa de topo de metal duro Ø10	129.30	-	2	1	258
Macho M10 HSS-E, PVD CRN	75.84	-	2	1	150
Parafusos de cabeça cilíndrica DIN 912, preto M8 x 25 mm	-	10	100	47	10
Broca de pontos	-	10	1	-	6
Parafusos de cabeça cilíndrica DIN 912, preto M10 x 50 mm	-	5	10	6	5
				Total	1350

Tabela 49 - Identificação do tempo de vida útil da ferramenta, por características e em comprimento.

Descrição	Percurso da ferramenta [Furos ou comprimento]	TLIFEC [operação]	TLIFEL [m]
Broca de metal dura Ø8.5	3 948	10 100	-
Broca de metal dura Ø20	1 000	7 930	-
Fresa de topo de metal duro Ø10	<b>11,812</b>	-	<b>2 400</b>
Macho M10 HSS-PM, PVD AICRN	3 024	5 980	-

Na tabela 50, estão identificados os tempos de maquinagem e respetivos custos de produção das ferramentas auxiliares ao processo e dos mil suportes do tacómetro.

Tabela 50 - Tempos de maquinagem e respetivos custos de produção da placa base e da grelha.

Descrição	Tempo de produção (h)	Custo de maquinagem (€)
Base de aço endurecido 700 mm x 300 mm	<=1	55
Barras transversais, material F10	3	90
Suportes do tacómetro	70	3 850

A margem de lucro da empresa associada à produção de mil suportes de tacómetros, pelos atuais métodos, corresponde a aproximadamente 46 %, obtendo deste modo um lucro de 14 051 € com a venda deste produto. Com o melhoramento teórico do processo e a escolha de novas ferramentas, é possível identificar uma melhoria no desempenho da produção. Assim, para o mesmo preço de venda alcançou-se uma margem de lucro de 78%, sendo o lucro teórico de 23 670 €, um acréscimo de cerca de 9 824.31 € face ao lucro conquistado pela corrente metodologia (ver tabela 51, 52).

Tabela 51 - Análise económica da metodologia teórica.

Descrição	Custo de produção (€)	Preço de venda (€)	Margem de lucro (%)	Lucro (€)
Suporte do tacómetro	6 730	30 400	≈ 78	23 670

Tabela 52 – Comparação do lucro da atual metodologia com a desenvolvida teoricamente.

Descrição	Margem de lucro (%)	Lucro (€)
Suporte do tacómetro	<b>+32</b>	<b>+9 824.31</b>

### 3.2.7 Análise crítica

Os objetivos primordiais do melhoramento do layout de fabrico do componente em causa, é a redução dos tempos mortos de maquinagem (tempos dos quais a ferramenta de corte não está em contacto com a peça), poupar material e ao mesmo tempo tornar possível a sua maquinagem. Para isto ser possível é necessário haver um planeamento prévio e detalhado da metodologia a seguir. É fundamental o uso do software CAD/CAM, pois para além de reduzir substancialmente os tempos de preparação, fornecem uma visão mais precisa do resultado esperado, ou seja, os tempos de ciclo, percurso da ferramenta, detetar eventuais colisões, tendo, por conseguinte, um impacto tremendo na redução dos tempos não produtivos.

Para se melhorar o desempenho do processo, é importante escolher as ferramentas certas. Recorreu-se aos catálogos do fabricante para determinar os parâmetros de corte ideais, com o intuito, de otimizar a vida útil da ferramenta e o processo. Embora o preço das ferramentas adotadas para a maquinagem seja consideravelmente superior às usadas, mostrou ter significativas vantagens.

Um ponto que deverá ser analisado, será o sistema de apertos pelas barras transversais, isto é, se a sua corrente disposição e aperto é suficiente para bloquear o movimento das peças.



# CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS



## 4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

### 4.1 CONCLUSÕES

Com este trabalho, podemos concluir que com a atual evolução da indústria metalomecânica, em termos de expansão e tecnologia, os tempos de fabrico de peças são cada vez mais curtos. Se uma empresa não se adaptar a este progresso, é facilmente ultrapassada pela concorrência.

O fabrico de um gabari mecânico simples, reduz o prejuízo em 525.55€ para a simples produção de chanfros em 2000 peças de suportes distanciadores por mês. Embora esta seja considerada uma operação simples, por ano têm um prejuízo de 8 492€. É esperado um dano anual de 2 710.95€ com a utilização do novo gabari. O que no final de contas, dada a pequena dimensão da empresa e a necessidade de investimento, contribui de forma negativa para a sua evolução.

A grande vantagem da utilização do *software* CAM em relação à programação linha a linha, é de longe, a programação mais rápida e eficiente de uma peça de médio a elevado grau de complexidade. Quando se fala de otimizar layouts de peças é quase indispensável o seu uso. Neste trabalho, houve uma redução de 78% do tempo de programação com o recurso ao *software* CAM em relação à programação linha a linha.

A seleção dos parâmetros de corte deve ser cuidadosamente planeada e deve-se sempre utilizar os dados fornecidos pelo fornecedor das ferramentas adquiridas. Apenas não melhora o desempenho e vida útil da ferramenta, como também a integridade da superfície da peça maquinada. Teoricamente, obteve-se um melhoramento de cerca de 75% do tempo de produção com a metodologia teórica desenvolvida e as respetivas ferramentas selecionadas.

Por uma análise de vertente teórica, desde a elaboração de uma nova possibilidade de maquinagem à sua simulação e estudo de todas as características envolvidas na sua execução, nomeadamente, o seu *layout*, ferramentas, apertos e custos inerentes ao processo, consegue-se observar um aumento do lucro de 9 824.31 € no fabrico de 1000 unidades de suportes para tacómetros e anual de 29 472.93€.

Em suma, se a metodologia de desenvolvimento de uma determinada peça for bem delineada, se invista, é meio caminho andado para se obter sucesso e acompanhar a competitividade existente no atual mercado.

## 4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Futuramente, poder-se-ia desenvolver novos métodos de aperto, com o intuito de reduzir o tempo de produção dos suportes de tacómetro.

Outra opção seria a introdução de um sistema de aperto pneumático ou hidráulico, que possibilitasse a diminuição dos tempos de fabrico. Assim, seria necessário repensar um novo *layout* de produção.

Tendo em conta que atualmente no mercado, existem inúmeras ferramentas de corte capazes de trabalhar a altas velocidades de corte e de avanço, esta seria outra alternativa para a redução dos tempos de maquinagem. É certo que a aquisição é mais dispendiosa, no entanto com um bom planeamento e uma máquina CNC capaz de suportar estas velocidades, permitiria alcançar tempos de produção cada vez mais curtos, tornando a empresa mais competitiva.

# BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

## 5.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

### 5.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

1. Martinho RP, Silva FJG, Baptista APM (2008). Cutting forces and wear analysis of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> diamond coated tools in high speed machining. *Vacuum*; 82:1415-1420. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2008.03.065>
2. Barbosa M, Silva FJG, Pimentel C, Gouveia RM (2018). A Novel Concept of CNC Machining Center Automatic Feeder. *Procedia Manufacturing*; 17:952-959. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.111>
3. Gouveia M, Silva FJG, Reis P, Baptista APM (2016). Machining Duplex Stainless Steel: Comparative Study Regarding End Mill Coated Tools. *Coatings*; 6:51. <https://doi.org/10.3390/coatings6040051>
4. Martinho RP, Silva FJG, Baptista APM (2007). Wear behaviour of uncoated and diamond coated Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> tools under severe turning conditions. *Wear*; 263:1417-1422. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.01.048>
5. Portugal Global: Revista - Metalurgia e Metalomecânica número um das exportações [acedido em 3 de Julho de 2019].
6. Perez H, Diez E, Perez J, Vizan A (2013). Analysis of machining strategies for peripheral milling. *Procedia Engineering*; 63:573-581. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.193>
7. Iqbal A, Suhaimi H, He N (2019). A sustainability comparison between drilling and milling for hole-enlargement in machining of hardened steels. *Machining Science and Technology*; 23:712-733. <https://doi.org/10.1080/10910344.2019.1575409> .
8. Shixiong W, Wei M, Bin L, Chengyong W (2016). Trochoidal machining for the high-speed milling of pockets. *Journal of Materials Processing Technology*; 233:29-43. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.01.033>.
9. SANDVIK Coromant: Fresagem concordante vs. fresagem discordante. Acessível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/>. [acedido em 1 de Julho de 2019].
10. Deus P, Alves M, Bilesky L (2016). The Influence of Cutting Speed on Concordant and Discordant Tangential Milling of MDF. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*; 6:65-69. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2114.3286>

11. Correia AE, Davim JP (2006). EFEITO DA LUBRIFICAÇÃO MÍNIMA (MQL - MINIMAL QUANTITY OF LUBRICANT) NA MAQUINAGEM DE UMA LIGA DE ALUMÍNIO. *Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões*; 13:27-34
12. Astakhov VP , Goldlevskiy V (2012). Delivery of metalworking fluids in the machining zone. *Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering*; 3:79-134. <https://doi.org/10.1533/9780857095305.79>
13. Agapiou J (2018). Performance Evaluation of Cutting Fluids with Carbon Nano-Onions as Lubricant Additives. *Procedia Manufacturing*; 26:1429-1440. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.101>
14. Lu T, Kudaravalli R, Georgiou G (2018). Cryogenic Machining through the Spindle and Tool for Improved Machining Process Performance and Sustainability: Pt. I, System Design. *Procedia Manufacturing*; 21:266-272. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.120>
15. Kirsch B, Basten S, Hasse H, Aurich JC (2018). Sub-zero cooling: A novel strategy for high performance cutting. *CIRP Annals*; 67:95-98. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.04.060>
16. Klotz S, Gerstenmeyer M, Zanger F, Schulze V (2014). Influence of clamping systems during drilling carbon fiber reinforced plastics. *Procedia CIRP*; 13:208-213. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.04.036>
17. Klotz S, Zanger F, Schulze V (2014). Influence of clamping systems during milling of carbon fiber reinforced composites. *Procedia CIRP*; 24:38-43. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.142>
18. Klotz S, Lepold A, Zanger F, Schulze V (2017). Experimental investigation of clamping systems and the resulting change of cutting conditions while drilling carbon fiber reinforced plastics. *Procedia CIRP*; 62:15-20. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.089>
19. Costa C, Silva FJG, Gouveia RM, Martinho RP (2018). Development of hydraulic clamping tools for the machining of complex shape mechanical components. *Procedia Manufacturing*; 17:563-570. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.097>
20. Liu H, Zhao L, Li T, Hou B, Wang Y, Ma Y, et al (2016). Multi-point Clamping with Automatic Collision Avoidance for Aircraft Structural Parts Machining. *Procedia Manufacturing*; 6:33-38. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.11.005>
21. Delporta LD, Conrădiea P, Oosthuizen GA (2017). Suitable clamping method for milling of thin-walled Ti6Al4V components. *Procedia Manufacturing*; 8:338-344. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.043>
22. Liu J, Du X, Zhou H, Liu X, Li L, Feng F (2019). A digital twin-based approach for dynamic clamping and positioning of the flexible tooling system. *Procedia CIRP*; 80:746-749. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.063>
23. Vavruska P, Zeman P, Stejskal M (2018). Reducing Machining Time by Pre-Process Control of Spindle Speed and Feed-Rate in Milling Strategies. *Procedia CIRP*; 77:578-581. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.216>

24. Park H, Qi B, Dang D, Park DY (2017). Development of smart machining system for optimizing feedrates to minimize machining time. *Journal of Computational Design and Engineering*; 5:299-304. <https://doi.org/10.1016/jcde.2017.12.004>
25. Karner J, Pedrazzini M, Reineck I, Sjöstrand ME, Bergmann E (1996). CVD diamond coated cemented carbide cutting tool. *Materials Science and Engineering: A*; 209:405-413. [https://doi.org/10.1016/0921-5093\(95\)10140-3](https://doi.org/10.1016/0921-5093(95)10140-3)
26. Bobzin K (2017). High-performance coatings for cutting tools. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*; 18:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2016.11.004>.
27. Rajaguru J, Arunachalam N (2017). Coated tool Performance in Dry Turning of Super Duplex Stainless Steel. *Procedia Manufacturing*; 10:601-611. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.061>
28. Martinho RP, Silva FJG, Martins C, Lopes H (2019). Comparative study of PVD and CVD cutting tools performance in milling of duplex stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*; 102:2423-2439. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03351-8>.
29. Silva FJG, Martinho RP, Martins C, Lopes H (2019). Machining GX2CrNiMoN26-7-4 DSS Alloy: Wear Analysis of TiAlN and TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN Coated Carbide Tools Behavior in Rough End Milling Operations. *Coatings*.9:392. <https://doi.org/10.3390/coatings9060392>.
30. Corrêa JG, Schroeter RB, Machado AR (2017). Tool Life and Wear Mechanism Analysis of Carbide Tools Used in the Machining of Martensitic and Supermartensitic Stainless Steels. *Tribology International*; 105:102-117. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.09.035>
31. Santos A, Silva M, Jackson M (2018). Tungsten carbide micro-tool wear when micro milling UNS S32205 duplex stainless steel. *Wear*; 414-415:109-117. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.08.007>
32. Chinchankara S, Choudhury SK (2014). Evaluation of Chip-Tool Interface Temperature: Effect of Tool Coating and Cutting Parameters during Turning Hardened AISI 4340 Steel. *Procedia Materials Science*; 6:996-1005. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.170>.
33. Paiva JMF, Torres RD, Amorim FL, Covelli D, Tauhiduzzaman M, Veldhuis S, et al (2017). Frictional and wear performance of hard coatings during machining of superduplex stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*; 92:423-432. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0141-4>
34. Krolczyk GM, Nieslony P, Legutko S (2015). Determination of tool life and research wear during duplex stainless steel turning. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*; 15:347-354. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2014.05.001>
35. Zheng G, Xu R, Cheng X, Zhao G, Li L, Zhao J (2018). Effect of cutting parameters on wear behavior of coated tool and surface roughness in high-speed turning of 300M. *Measurement*; 125:99-108. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.04.078>

36. Chinchankar S, Choudhury SK (2013). Wear behaviors of single-layer and multi-layer coated carbide inserts in high speed machining of hardened AISI 4340 steel. *Journal of Mechanical Science and Technology*; 27:1451-1459. <https://doi.org/10.1007/s12206-013-0325-2>
37. Jovic S, Arsic N, Vukojevic V, Anicic O, Vujicic S (2017). Determination of the important machining parameters on the chip shape classification by adaptive neuro-fuzzy technique. *Precision Engineering*; 48:18-23. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2016.11.001>
38. Zhang JZ, Chen JC, Kirby ED (2007). Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method. *Journal of Materials Processing Technology*; 184:233-239. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.11.029>
39. Selvaraj DP, Chandramohan P, Mohanraj M (2014). Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method. *Measurement*; 49:205-215. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.11.037>
40. Bleicher F, Reiter M (2018). Wear reduction on cutting inserts by additional internal cooling of the cutting edge. *Procedia Manufacturing*; 21:518-524. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.152>
41. Selvaraj DP (2017). Optimization of cutting force of duplex stainless steel in dry milling operation. *Materials Today: Proceedings*; 4:11141-11147. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.08.078>
42. Boing D, Oliveira A, Schroeter RB (2018). Limiting conditions for application of PVD (TiAlN) and CVD (TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN) coated cemented carbide grades in the turning of hardened steels. *Wear*; 416-417:54-61. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.10.007>
43. Qehaja N, Jakupi K, Bunjaku A, Bruçi M, Osmani H (2014). Effect of Machining Parameters and Machining Time on Surface Roughness in Dry Turning Process. *Procedia Engineering*; 100:135-140. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.351>
44. Martins M, Godina R, Pimentel C, Silva FJG, Matias JCO (2018). A Practical Study of the Application of SMED to Electron-beam Machining in Automotive Industry. *Procedia Manufacturing*; 17:647-654. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.113>
45. Sousa E, Silva FJG, Ferreira LP, Pereira MT, Gouveia R, Silva RP (2018). Applying SMED methodology in cork stoppers production. *Procedia manufacturing*; 17:611-622. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.103>
46. Rosa C, Silva FJG, Ferreira LP, Campilho R (2017). SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*; 13:1034-1042. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.110>
47. Diário de notícias: Exportações portuguesas de metalurgia e metalomecânica batem recorde em 2018. Acessível em: <https://www.dn.pt/>. [acedido em 3 de Julho de 2019].
48. Finantia: O bom momento da metalurgia e metalomecânica em Portugal. Acessível em: <http://finantia-esm.com/>. [acedido em 1 de Julho de 2019].

Outras fontes:

[49]. Irestal Group: Ficha técnicas de aço inoxidável. Acessível em: <http://data.irestal.com> [acedido em 12/08/2019].

[50]. ROL METAIS: Aços Inoxidáveis AISI 304. Acessível em: <http://rolmetais.com> [acedido em 12/08/2019].

[51]. BOIE: ACMT060202R-G55 WKP35G. Acessível em: <https://www.boie.de> [acedido em 20/10/2019].

[52]. Walter: Walter GPS 6.1. Acessível em: <http://gps.walter-tools.com/> [acedido em 25/09/2019]

[53]. GLEICH ALUMINIUM: EN AW 5083. Acessível em: <https://gleich.de/en/> [acedido em 22/7/2019].

[54]. Ramada: Uddeholm Ramax HH, área download. Acessível em: <https://www.ramada.pt> [acedido 12/08/2019]



# ANEXOS

6.1 ANEXO 1

6.2 ANEXO 2



## 6 ANEXOS

Neste capítulo, estão representados os desenhos dos componentes envolvidos no processo de fabricação, *software* de escolha de ferramentas, dados técnicos e configurador de produto.

### 6.1 ANEXO 1

Desenhos referentes a ferramentas auxiliares de maquinação.

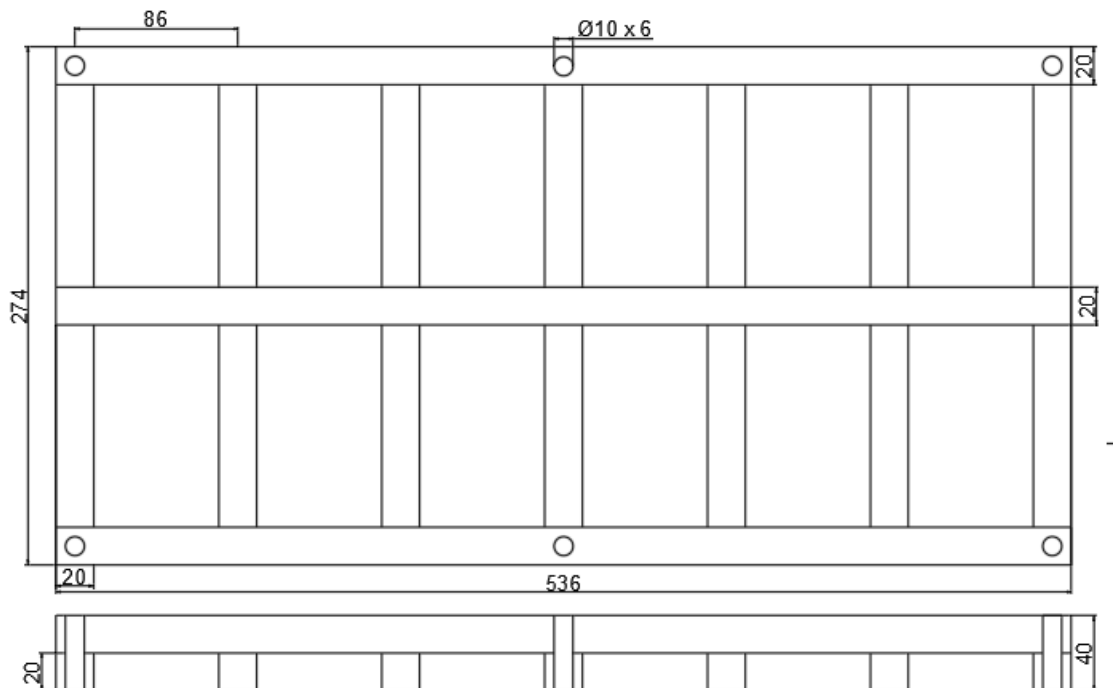


Figura 20 - Vista de topo e frontal das grelhas do 3ºaperto.

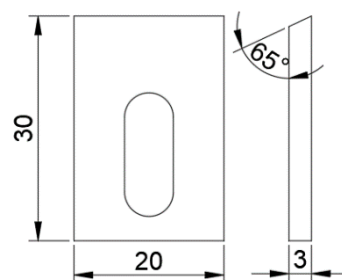


Figura 21 - Suporte distanciador.

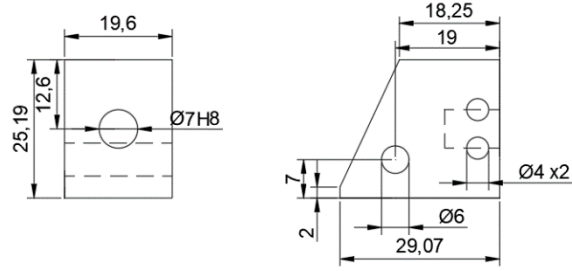


Figura 22 – Anexo, Batente Móvel.

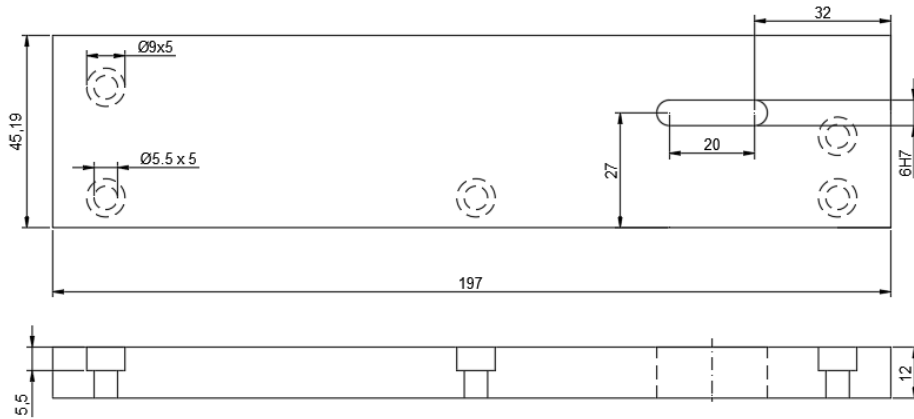


Figura 23 - Anexo, Parede de encosto gabari.

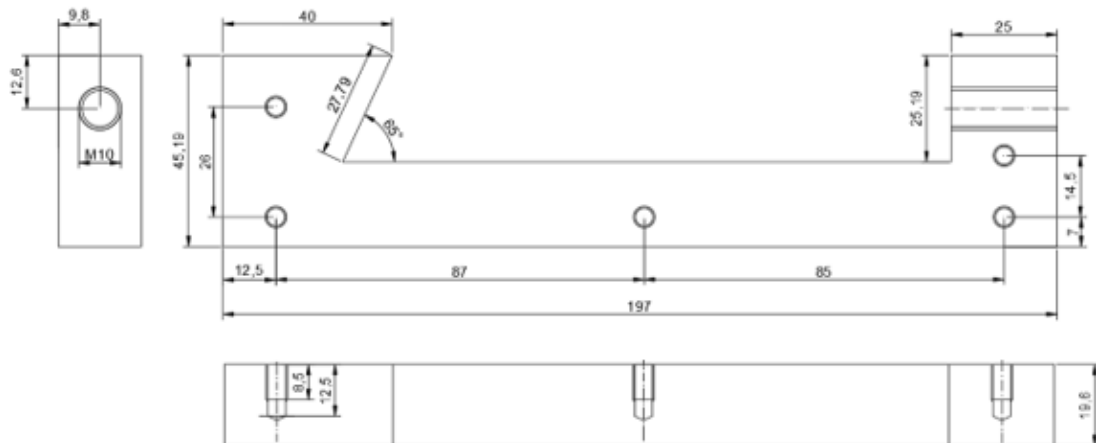


Figura 24 – Anexo, Base gabari.

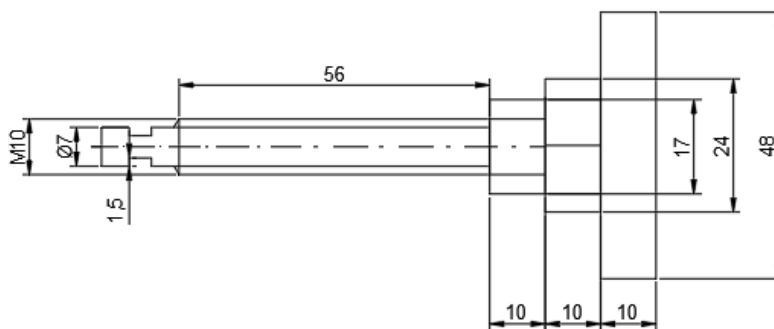


Figura 25 – Anexo, Manipulo estrela e fuso M10.



## 6.2 ANEXO 2

### GENERAL

Uddeholm Ramax HH is a chromium alloyed stainless holder steel, which is supplied in the hardened and tempered condition.

Uddeholm Ramax HH is characterized by

- Good corrosion resistance
- Uniform hardness even in large dimensions
- Good indentation resistance
- Good machinability

These properties combine to give a steel with outstanding production performance. The practical benefits of **good corrosion resistance** can be summarized as follows:

- Lower mould maintenance cost
- Lower production costs since water cooling channels are unaffected by corrosion, ensuring consistent cycle time

The practical benefit of the **relatively high hardness** for a prehardened grade can be summarized as:

- less indentations
- less wear

leading to lower mould maintenance cost and longer life.

Typical analysis %	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	S	+N
	0.12	0.2	1.3	13.4	0.5	1.6	0.2	0.1	
Delivery condition	Hardened and tempered to approx. 320–350 HB								
Colour code	Black/brown with white line across								

### APPLICATIONS

- Holders/bolsters for plastic moulds.
- Plastic and rubber moulds with low requirements on polishability
- Dies for plastic extrusion
- Constructional parts

### PROPERTIES

#### PHYSICAL DATA

Hardened and tempered to ~340 HB. Data at room and elevated temperatures.

Temperature	20°C (68°F)	200°C (390°F)
Density kg/m <sup>3</sup> lbs/in <sup>3</sup>	7 700 0.280	– –
Modulus of elasticity Mpa psi	215 000 31.2 x 10 <sup>6</sup>	205 000 29.7 x 10 <sup>6</sup>
Coefficient of thermal expansion per °C from 20°C per °F from 68°F	– –	10.8 x 10 <sup>-6</sup> 6.0 x 10 <sup>-6</sup>
Thermal conductivity* W/m °C Btu in/ft <sup>2</sup> h °F	– –	24 166
Specific heat capacity J/kg °C Btu/lb°F	460 0.110	–

\* Thermal conductivity is very difficult to measure. The scatter can be as high as ±15%

#### TENSILE STRENGTH

Approximate values. Samples were taken from a bar 255 x 60 mm (10 x 2.4") in length direction. Hardness: ~340 HB.

Testing temperature	20°C (68°F)	200°C (390°F)
Tensile strength Rm MPa psi	1 140 1.65 x 10 <sup>5</sup>	1 020 1.48 x 10 <sup>5</sup>
Yield strength Rp <sub>0.2</sub> MPa psi	990 1.44 x 10 <sup>5</sup>	920 1.33 x 10 <sup>5</sup>
Reduction of area Z, %	46	48
Elongation A <sub>5</sub> , %	12	10

Note: The high sulphur content gives lower mechanical properties in the transverse compared with the longitudinal direction.



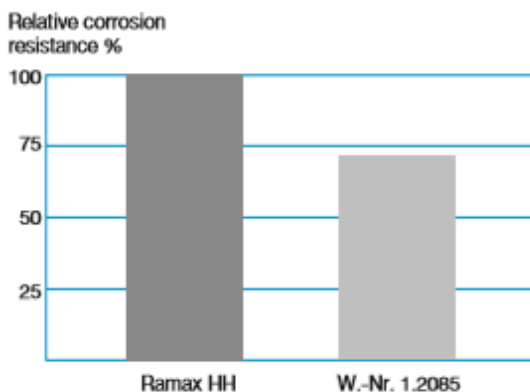
Holder plate.

## CORROSION RESISTANCE

Holders made from Uddeholm Ramax HH will have good resistance to corrosion caused by humid working and storage conditions and when moulding corrosive plastics under normal production conditions.

In the graph below values from potentiodynamic polarization curves has been evaluated to show the difference in general corrosion resistance between Uddeholm Ramax HH and W.-Nr. 1.2085.

Specimen size: 20 x 15 x 3 mm (0.8 x 0.6 x 0.12")



## HEAT TREATMENT

Uddeholm Ramax HH is intended for use in the as-delivered condition i.e. hardened and tempered to ~340 HB.

When the steel is to be heat treated to higher hardness, instructions below are to be followed.

*However, note that an increased hardness yields a lower toughness.*

### SOFT ANNEALING

Protect the steel and heat through to 740°C (1365°F). Cool at 15°C (30°F) per hour to 550°C (1020°F), then freely in air.

### STRESS RELIEVING

After rough machining the tool should be heated through to max. 530°C (985°F), holding time 2 hours, then cool freely in air.

## HARDENING

*Note:* The steel should be annealed before hardening.

*Preheating temperature:* 500–600°C (930–1110°F).

*Austenitizing temperature:* 980–1020°C (1795–1870°F).

The steel should be heated through to the austenitizing temperature and held at temperature for 30 minutes.

*Protect the tool against decarburization and oxidation during the hardening process.*

## QUENCHING MEDIA

- Oil
- Fluidized bed or salt bath at 250–550°C (480–1020°F), then cool in air blast
- Vacuum with sufficient positive pressure
- High speed gas/circulating atmosphere

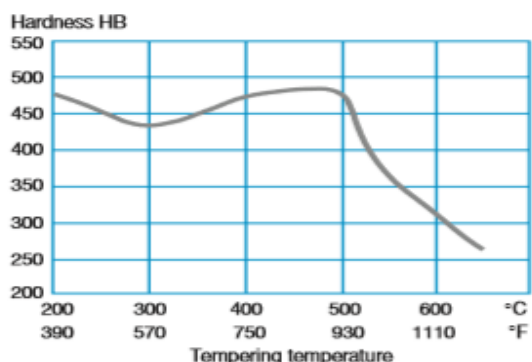
In order to obtain the optimum properties, the cooling rate should be as fast as possible within acceptable distortion limits. Temper the tool as soon as its temperature reaches 50–70°C (120–160°F).

## TEMPERING

Choose the tempering temperature according to the hardness required by reference to the tempering graph. Temper twice with intermediate cooling to room temperature. Lowest tempering temperature 250°C (480°F). Holding time at temperature minimum 2 hours.

*Austenitizing temperature:* 1000°C (1830°F), 30 minutes

*Holding time:* 2 + 2h



Ramada: Uddeholm Ramax HH, área *download*. Acessível em: <https://www.ramada.pt> [acedido 12/08/2019]

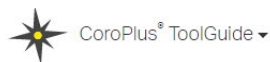



### CONFIGURE O SEU PRODUTO


Formato	Placa	
Espessura	10	
Comprimento	540	Val. Máx.:4020
Largura	170	Val. Máx.:2020
Quantidade	200	
Resultado:	515.02 KG	
<input type="button" value="LIMPAR"/> <input type="button" value="CALCULAR"/> <input type="button" value="ADICIONAR AO ORÇAMENTO"/>		


Formato	Placa	
Espessura	10	
Comprimento	540	Val. Máx.:4020
Largura	210	Val. Máx.:2020
Quantidade	84	
Resultado:	265.75 KG	
<input type="button" value="LIMPAR"/> <input type="button" value="CALCULAR"/> <input type="button" value="ADICIONAR AO ORÇAMENTO"/>		


**Polylanema: AW 5083, configuração de produto. Acessível em: <https://www.polylanema.pt> [acedido 1/08/2019]**



 TASK

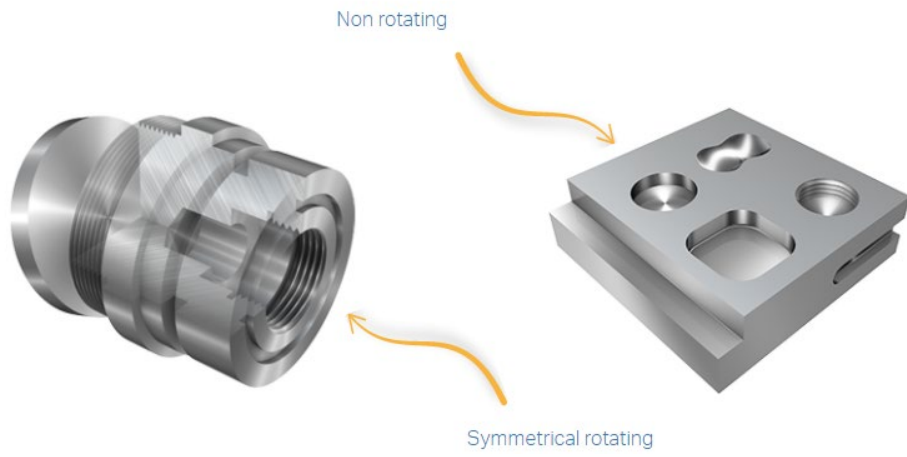
 MATERIAL

 MACHINE

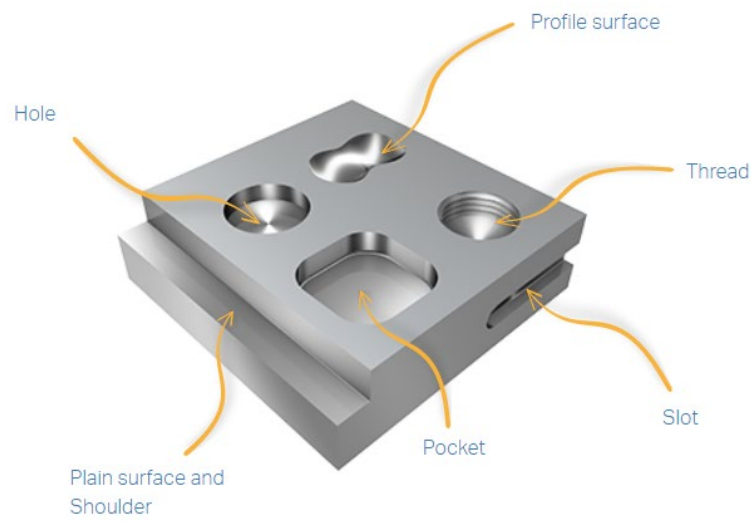
 WORKPIECE PARAMETERS

Get results

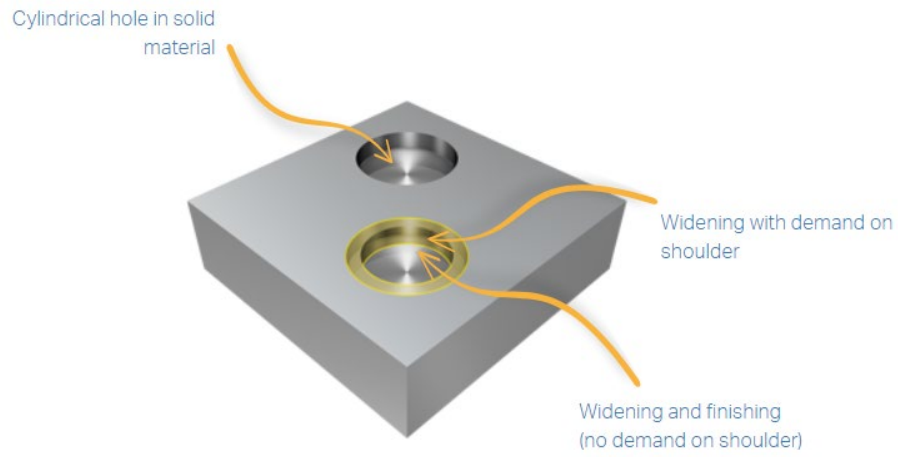
COMPONENT



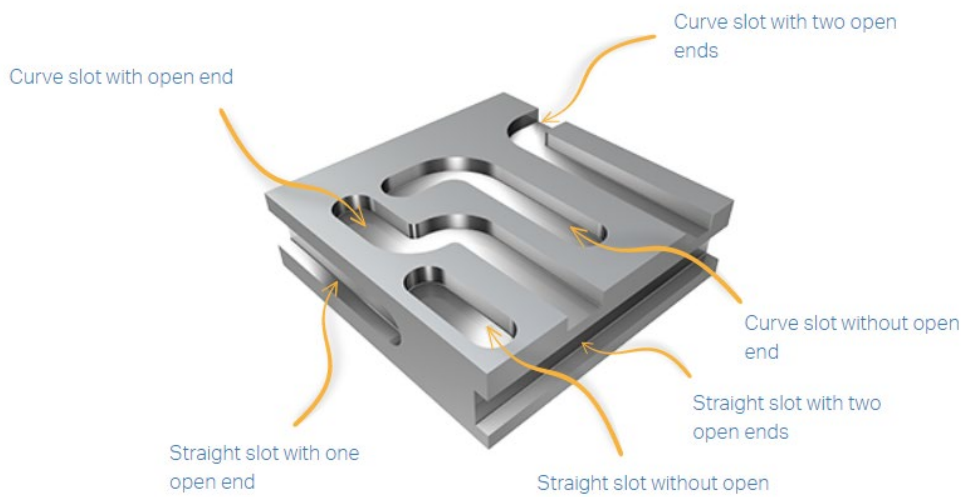
NON ROTATING



HOLE



CURVE SLOT WITH OPEN END



Working conditions	Workpiece surface condition code Pre-machined	Stability of fixturing Good stability	● Good conditions
--------------------	--	--	-------------------

Operation type  
CTPT

Pre-machining

---

Depth of machining feature  
DEPTHMF

10 mm

---

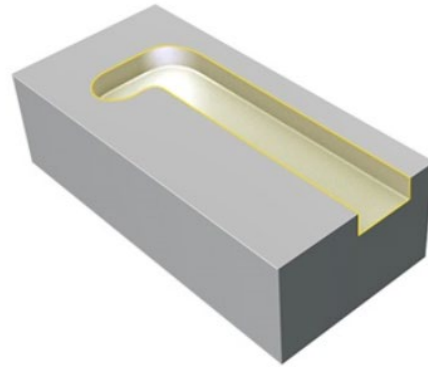
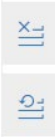
General width parameter  
WIDTH




10 mm

---

General length parameter  
LENGTH

11800 mm



- 
**Universal high-performance machine**  
 200 kW, 5000 1/min  
 200 kW, 500000 1/min
- 
**Universal machining centre**  
 28 kW, 18000 1/min
- 
**Multitask 01 - Medium (8-12" chuck)**  
 22 kW, 5000 1/min  
 18 kW, 12000 1/min

COUPLING  
COOLING  
PICTURE

COOLING STYLE

- Internal
- External
- Dry

COOLANT TYPE

- Compressed Air
- Emulsion 10%



The screenshot displays a software interface for tool selection and parameter setting. On the left, a material selection panel shows 'Aluminium based alloy' (N1.2.Z.UT, 78 HB). Below it, a 'Universal machining centre' is selected with a power of 28 kW and 18000 1/min. The 'Pre-machining' section lists various parameters: Depth of machining feature (10 mm), General width parameter (10 mm), General length parameter (11800 mm), General radius parameter (5 mm), Minimum shoulder radius of a curved slot (10 mm), and Corner radius maximum. The central panel shows the selected tool 'CoroMill Plura' (R216.33-10040-AJ14U, H10F) with specifications: Cylindrical shank (IDIN 1835-A / DIN6535-HA1 -metric: 12), Cutting diameter (10 mm), Depth of cut maximum (14 mm), Tool life count (126 Features), and Machining time (01:50.400 min.s). The right panel shows 'STEPS' with 'PREMACHINING' parameters: Cutting speed (565 m/min) and Feed per tooth (0.141 mm).

**Sandvik: CoroPlus® Tool Guide, seleção de ferramentas. Acessível em:**  
<https://www.sandvik.coromant.com> [acedido 15/07/2019]

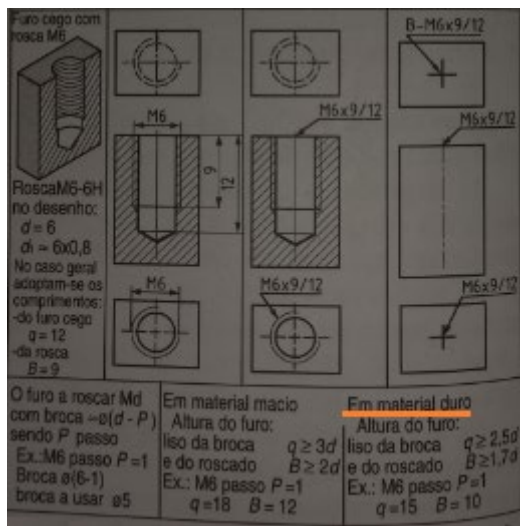


Figura 28 - Anexo, Altura do furo para material duro, Livro Desenho técnico básico 3, Simões Morais, 23ª Edição.

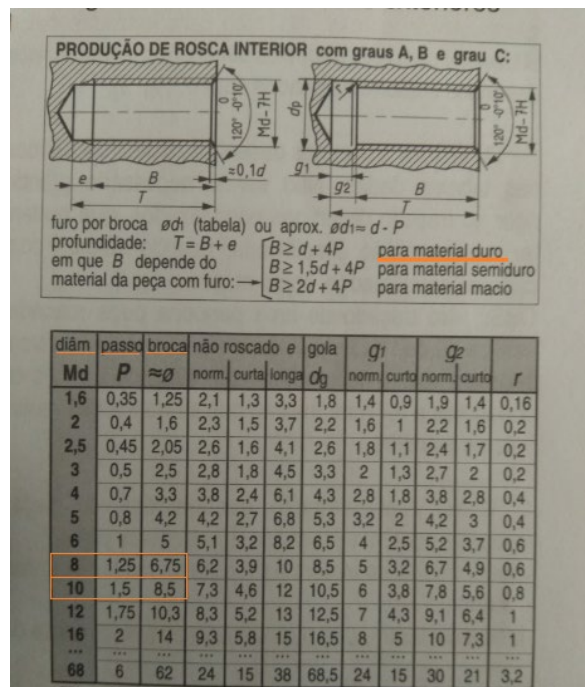
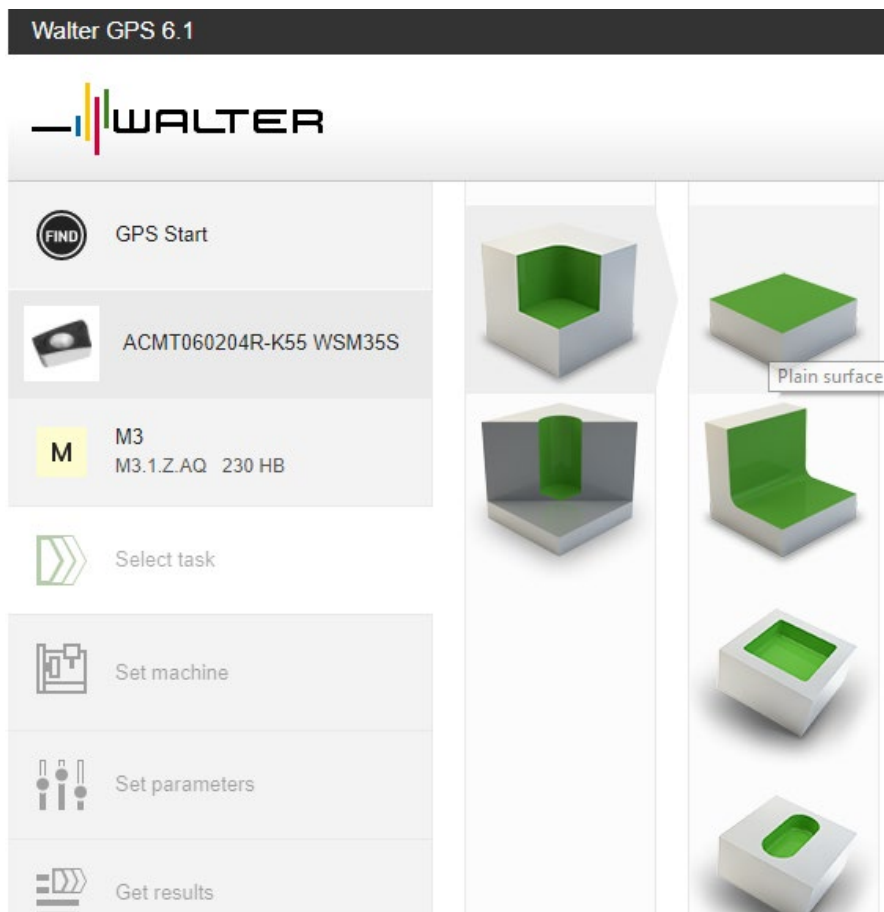
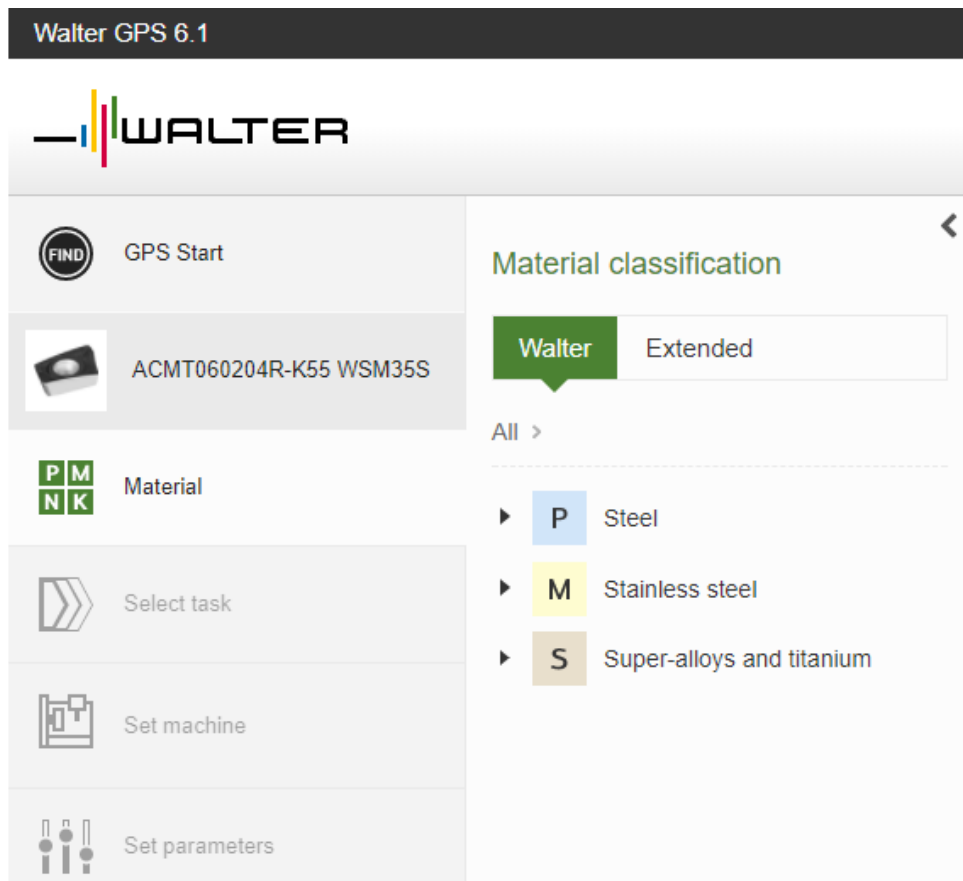


Figura 29 – Anexo, Profundidade de rosca para material duro, Livro Desenho técnico básico 3, Simões Morais, 23ª Edição.



Walter GPS 6.1 English

---

**WALTER**

GPS Start

ACMT060204R-K55 WSM35S

M3  
M3.1.Z.AQ 230 HB

Plain surface

Universal high-performanc...  
200 kW, 500000 1/min

1.4 mm → 20 mm  
115 mm

Options

**Operation type**

- Pre-machining
- Finishing
- Pre-machining and finishing

**Workpiece surface condition**

- Pre-machined
- Light skin
- Heavy skin

**System stability**

- Excellent stability
- Good stability
- Low stability

Parameters

Depth\* 1,4 mm

Width\* 20 mm

Length\* 115 mm

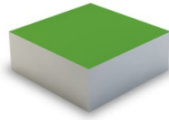
Interruption ratio 0 %

Tool

Cutting edge diameter 25 mm

Min. cutting edge diameter mm

Max. cutting edge diameter mm



Walter GPS 6.1

---

**WALTER**

GPS Start

ACMT060204R-K55 WSM35S

M3  
M3.1.Z.AQ 230 HB

Plain surface

12 kW / 50 Nm  
12 kW, 20000 1/min

1.4 mm → 20 mm  
115 mm

Search

Machining center


- 12 kW / 50 Nm
- 30 kW / 120 Nm
- HPC 65 kW / 550 Nm
- HPC 75 kW / 5.500 Nm
- HSC 120 kW / 150 Nm

Lathe with driven tools

- 15 kW / 4 kW
- 24 kW / 5,5 kW

Machine tool

Tool spindle



Name 12 kW / 50 Nm

Class Machining center

Description small machining centre

Machine tool cost rate 50 €/h

Type of cooling Coolant

Walter GPS 6.1

---

**WALTER**

M3  
M3.1.Z.AQ 230 HB

Plain surface

12 kW / 50 Nm  
12 kW, 20000 1/min

1.4 mm → 20 mm  
115 mm

6 Results  
Face Milling

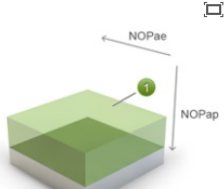
M5130-025-A25-05-05  
ACMT060204R-K55 WSM35S (5x)

Tool

Indexable insert tool

M5130-025-A25-05-05  
Body

ACMT060204R-K55 WSM35S  
Insert periphery (A) (5x)



General info ECO Cutting data **Change cutting data**

Premachining

Spindle speed n 1270 1/min

Tool life length LifeLength 17 m

Tool life time LifeTime 53 min

Cutting speed v<sub>c</sub> 100 m/min

Feed per tooth f<sub>z</sub> 0,05 mm

No. of features

Cost per feature 0,582 €/task

Total machining time T<sub>mf</sub> 24,1 s

Tool life count 131 Features

Walter GPS 6.1

**WALTER**

**M** M3  
M3.1.Z.AQ 230 HB

Plain surface

12 kW / 50 Nm  
12 kW, 20000 1/min

1,4 mm → 20 mm  
115 mm

6 Results  
Face Milling

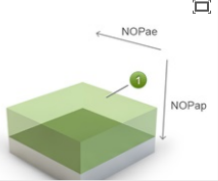
M5130-025-A25-05-05  
ACMT060204R-K55  
WSM35S (5x)

**Tool**

Indexable insert tool

M5130-025-A25-05-05  
Body

ACMT060204R-K55 WSM35S  
Insert periphery (A) (5x)



General info **ECO** Cutting data Change cutting data

Total cutting time	$T_{c\ tot}$	24,1 s
Total machining time	$T_{mf}$	24,1 s
No. of features		131 Features
Insert costs		0,223 €/task
Tool costs		0,0248 €/task
Cost machine tool		0,334 €/task
Cost per feature		0,582 €/task

Walter: Walter GPS 6.1. Acessível em: <http://gps.walter-tools.com/> [acedido em 25/09/2019].